

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO

Mestrado em: Gestão de Sistemas de Informação

Avaliação de Desempenho dos Sistemas Periciais

José Fernando Santos Alves

Orientação: Doutor António Maria Palma dos Reis

Júri:

Presidente: Doutor António Maria Palma dos Reis

Vogais: Doutora Maria Fernanda Abreu Sampaio

Doutor Pedro Teixeira Isaías

Julho 2005

“Era ingénuo por parte dos optimistas do século XIX esperar o paraíso da tecnologia, e é igualmente ingénuo por parte dos pessimistas do século XX fazer da tecnologia o bode expiatório das imperfeições humanas.”

Peter Drucker

Glossário de Termos e Abreviaturas

(do Inglês)

Avaliação

(Evaluation)

Apreciação do valor de uma intervenção (avaliação da eficácia de um programa, avaliação da qualidade de um serviço, etc.).

BC – Base de Conhecimento

(KB - Knowledge Base)

Base de dados que contém regras de inferência e informação referentes à experiência e perícia humanas num domínio específico.

Conhecimento

(Knowledge)

Colecção de factos, acontecimentos, crenças e regras, organizadas para uso sistemático.

Desempenho

(Performance)

Pode ser definido como a maneira que o sistema se comporta e cumpre a execução das tarefas.

Eficácia

(Effectiveness)

Relação entre os efeitos produzidos por uma intervenção e os objectivos que se propunha atingir.

Eficiência

(Efficiency)

Relação entre os efeitos produzidos por uma intervenção e os recursos mobilizados para o efeito.

SIE – Sistema de Informação para Executivos	(EIS – Executive Information System) Sistemas vocacionados para fornecer informação aos gestores, proporcionando funcionalidades de análise da informação, formas de questionar, etc. Integram informação de várias fontes, internas e externas, de acordo com o modelo de negócio.
IA - Inteligência Artificial	(AI - Artificial Intelligence) Capacidade de uma unidade funcional para executar funções que estão geralmente associadas à inteligência humana, tais como o raciocínio e a aprendizagem.
LDR – Lado Direito de uma Regra / Conclusão	(RHS - Right-Handed Side) Conjunto de factos ou declarações na parte “então” de uma regra condicional.
LER – Lado Esquerdo de uma Regra / Premissa	(LHS - Left-Handed Side) Conjunto de factos ou declarações na parte “se” de uma regra condicional.
Métrica	(Metric) Medida do grau a que um sistema, entidade ou processo, possui um dado atributo. Uma métrica é uma comparação de duas ou mais medidas.
Motor de inferência	(Inference Engine) Componente de um Sistema Pericial que aplica métodos de raciocínio para chegar a conclusões, partindo de representações de informação armazenadas numa base de conhecimento.

Núcleo de Sistema Pericial	(Shell) Sistema Pericial vazio ao qual se sobrepõe o conhecimento de um domínio específico.
Raciocínio	(Reasoning) Processo pelo qual um ser humano, ou um computador analisa, classifica ou diagnostica, coloca hipóteses, resolve problemas ou faz inferências.
Rede semântica	(Semantic Network) Formalismo de representação do conhecimento baseado em conceitos, no qual os objectos ou estados são representados por nós ligados por arcos indicando as suas relações mútuas.
Regra condicional	(Conditional Rule)
Regra «se ... então»	Regra da lógica formal que compreende uma parte “se” que representa a premissa ou condição e uma parte “então” que representa a acção a ser tomada quando a parte “se” é verdadeira.
Regra heurística	(Heuristic Rule) Regra ad-hoc concebida para formalizar o conhecimento e a experiência que um perito usa para resolver um problema.
Regra de produção	(Production Rule) Regra condicional para representar o conhecimento num sistema baseado em regras.

RN – Rede Neuronal ou de Neurónios	(NN - Neural Network) Rede de unidades elementares de processamento ligadas por conexões ponderadas com pesos ajustáveis, na qual cada unidade produz um valor pela aplicação de uma função não linear aos seus valores de entrada, e o transmite a outras unidades ou o apresenta como uma saída.
SBC – Sistema Baseado em Conhecimento	(KBS - Knowledge Based System) Sistema de processamento de informação que proporciona a resolução de problemas num domínio ou numa área de aplicação particulares, através de inferências feitas a partir de uma base de conhecimento.
SP – Sistema Pericial	(ES - Expert System) Sistema de processamento de informação que proporciona a resolução de problemas num domínio ou numa área de aplicação particulares, através de inferências feitas a partir de uma base de conhecimentos fundada na experiência e competências humanas.
SSD – Sistema de Suporte à Decisão	(DSS – Decision Support System) Os sistemas de suporte à decisão organizam a informação relevante para a resolução do problema, utilizam modelos de análise para avaliação de soluções alternativas. Ajudam mas não substituem os decisores.

Resumo e Palavras-chave

As divergências existentes entre os autores que consideram que os Sistemas de Informação proporcionam benefícios consideráveis às organizações e aqueles que consideram que estes sistemas não proporcionam benefícios significativos, levou-nos a investigar a relação entre a adopção de Sistemas de Informação e o desempenho da organização relativamente a um tipo específico de sistemas, os Sistemas Periciais.

Assim, com base na literatura existente é proposta uma Metodologia de Avaliação de Desempenho de Sistemas Periciais, bem como as métricas que lhe estão associadas.

A metodologia e as métricas propostas são aplicadas a um caso de estudo onde se demonstra que um Sistema Pericial de baixo custo pode, para o caso de estudo em questão, proporcionar benefícios significativos.

Palavras-chave: tecnologias de informação, sistemas de informação, sistemas inteligentes, sistemas periciais, avaliação de desempenho, métricas de desempenho.

Abstract and Keywords

The existing divergences between authors who consider that Information Systems provide considerable benefits to the organizations and those who consider that these systems failed to provide significant benefits, took us to investigate the relationship between the adoption of Information Systems and organizations performance regarding a specific type of systems, the Expert Systems.

Thus, based on existing literature is proposed a Methodology for Expert Systems Performance Evaluation, as well as the metrics that are associated.

The methodology and metrics proposed are applied to a case study where is evidenced that a low cost Expert System can, for the case study in question, provide significant benefits.

Keywords: information technologies, information systems, intelligent systems, expert systems, performance evaluation, performance metrics.

Índice

Glossário de Termos e Abreviaturas	3
Resumo e Palavras-chave	7
Abstract and Keywords	8
Índice	9
Lista de Tabelas	11
Lista de Figuras	11
Agradecimentos	12
Capítulo I - Introdução	13
Capítulo II - Enquadramento	17
II.1. Objectivos	23
II.2. Metodologia	24
Capítulo III - Sistemas Periciais	26
III.1. Definição	28
III.2. Benefícios e Limitações	30
III.3. Componentes do Sistema	33
III.4. Tomada de Decisão	36
III.5. Representação do Conhecimento	39
III.6. Categorias Genéricas	42
Capítulo IV - Avaliação de Desempenho	46
Capítulo V - Metodologia e Parâmetros de Avaliação	54
V.1. Objectivos, Resultados e Medidas	55
V.2. Abordagens e Parâmetros	58
V.3. Influências no Desempenho	60

V.4. Critério e Parâmetros Propostos	64
Capítulo VI - Estudo de Caso	70
VI.1. Sistema de Abastecimento.....	71
VI.2. Problema.....	74
VI.3. Indicadores Chave de Desempenho.....	75
VI.4. Hipóteses de Investigação	77
VI.5. Protótipo do Sistema Pericial	77
VI.5.1. Regras por período tarifário.....	80
VI.5.2. Algoritmo do motor de inferência	83
VI.6. Testes e Avaliação	84
VI.6.1. Modelo de Previsão	86
VI.6.2. Resultados e Análise.....	88
Capítulo VII - Conclusões e Desenvolvimento Futuro	99
Referências Bibliográficas.....	105
Anexos.....	116
Anexo I – Valores do Custo Real e Simulado do período de Inverno	116
Anexo II – Valores do Custo Real e Simulado do período de Verão.....	117
Anexo III – Tarifa eléctrica	118

Lista de Tabelas

Tabela II-1 – Comparação de Tecnologias de Suporte à Decisão	18
Tabela III-1 – Conhecimento Humano vs Artificial.....	26
Tabela III-2 – Sistemas Convencionais vs Periciais.....	27
Tabela III-3 – Características das Actividades de Decisão	37
Tabela V-1 – Benefícios reportados pela bibliografia.....	55
Tabela VI-1 – Capacidade dos reservatórios	73
Tabela VI-2 – Capacidade de bombagem.....	73
Tabela VI-3 - Análise de consistência.....	87
Tabela VI-4 - Correlação entre Consumo Real e Previsto	87

Lista de Figuras

Figura III-1 – Componentes de um Sistema Pericial.....	33
Figura III-2 – Esquema de SP integrado	34
Figura III-3 – As Bases da Decisão	36
Figura III-4 – Operações genéricas para sintetizar um sistema.....	44
Figura III-5 – Operações genéricas para analisar um sistema.....	44
Figura V-1 – Modelo do Sucesso de SI.....	62
Figura V-2 – Modelo de Influências.....	64
Figura VI-1 – Mapa do Sistema de Abastecimento.....	71
Figura VI-2 – Esquema do Sistema de Abastecimento	73
Figura VI-3 – Gráfico do Período de Bombagem Actual.....	75
Figura VI-4 – Esquema de SP integrado	78
Figura VI-5 – Esquema do Sistema Pericial.....	79
Figura VI-6 – Períodos do Tarifário	82
Figura VI-7 – Gráfico da Previsão de Consumo	88
Figura VI-8 – Custo Diário Real vs Simulado	89
Figura VI-9 – Consumo vs Ganho.....	89
Figura VI-10 – Correlação entre Consumo e Ganho.....	90
Figura VI-11 – Gráfico do Custo/Ganho vs Consumo	91
Figura VI-12 – Teste Normalidade do Custo	91
Figura VI-13 – Teste de Médias (Custo).....	92
Figura VI-14 – Comparação de Custos	93
Figura VI-15 – Gráfico da Bombagem Real de um dia de Verão	93
Figura VI-16 – Gráfico da Bombagem Simulada de um dia de Verão	94
Figura VI-17 – Gráfico da Bombagem Real de um dia de Inverno	94
Figura VI-18 – Gráfico da Bombagem Simulado de um dia de Verão	95
Figura VI-19 – Custo Diário Real vs Simulado (Qualidade)	96
Figura VI-20 – Teste da Médias (Qualidade).....	97
Figura VI-21 – Gráfico do Custo/Ganho vs Consumo (Qualidade).....	97
Figura VI-22 – Gráfico da Bombagem Real e Simulada de um dia de Inverno.....	98

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Palma dos Reis, a quem manifesto o meu profundo reconhecimento pelo empenho e esforço na orientação desta tese. As suas críticas e sugestões foram um contributo decisivo para a elaboração deste trabalho.

Ao Eng. João Raminhos, pela valiosa colaboração, na disponibilização dos dados para o estudo de caso e na participação como perito para a elaboração das regras do Sistema Pericial.

Ao Eng. Marco Alves pela ajuda no desenvolvimento do Sistema Pericial.

Capítulo I - Introdução

Os Sistemas de Informação, e em particular os Sistemas Inteligentes, têm evoluído rapidamente nas últimas décadas. Assistimos ao desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão, sistemas de suporte à decisão em grupo, sistemas baseados em conhecimento e Sistemas Periciais (Grabowski e Sanborn, 2001, 2003).

Vários sistemas deste tipo foram implementados e utilizados para suporte aos gestores no seu processo de tomada de decisão. Tendo sido referidos como uma ferramenta útil para aumentar o desempenho dos gestores, ajudando-os a ganhar mais conhecimento, experiência e perícia, e consequentemente aumento da qualidade da decisão (Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga, 2002). Este tipo de sistemas, devido à sua evolução, pode ser construído de forma simples e com baixo investimento, gerando vantagens competitivas para a empresa (Mattei, 2001).

No segmento dos Sistemas Periciais, os Sistemas Periciais de Tempo Real, embutidos em sistemas de grande porte, fornecendo-lhes a inteligência para a tomada de decisão sem a intervenção humana, parecem trazer uma vantagem competitiva. Essencialmente, pela eficiência e eficácia, na análise de grandes volumes de dados onde o limite cognitivo do humano se faz sentir (Wilikens e Burton, 1996).

No entanto, e apesar destas vantagens e benefícios, os Sistemas Periciais ainda são olhados, pelos responsáveis da gestão, um pouco de soslaio. As organizações continuam relutantes na sua utilização como uma ferramenta competitiva (Mattei, 2001). Apesar da evolução e dos avultados investimentos, parece não serem consensuais as suas

vantagens e benefícios, continuando a gerar interesse e debate entre os académicos e profissionais. Nem todos os estudos têm demonstrado um claro retorno dos investimentos em sistemas (Kohli e Devaraj, 2003).

Alguns autores apontam para esta falta de evidência dos benefícios e mesmo resultados contraditórios para o desempenho das organizações, questões estruturais tais como medidas inadequadas, metodologias de análise e falta de tempo na medição dos retornos (Kohli e Devaraj, 2003) (Baatz, 1994; Berndt & Morrison, 1991; Brynjolfsson, 1993; citados por Myers, Kapellman e Prybutok, 1997). O estabelecimento da ligação entre o negócio e a tecnologia da informação tem sido consistentemente reportado como uma das preocupações chave dos gestores de sistemas de informação (Reich e Benbasat, 1996).

Face a esta problemática, e ao facto dos gestores de Sistemas de Informação estarem sobre pressão para justificar o valor e contribuição dos investimentos para a produtividade, qualidade e competitividade da organização (Myers, Kapellman e Prybutok, 1997), será que existem metodologias de avaliação e métricas que garantam uma coerência na avaliação do desempenho dos Sistemas Periciais, tendo por base os objectivos e o fim a que se destinam?

Neste trabalho tentaremos contribuir para responder à questão: *“Que métricas e procedimentos podem ser utilizados para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais?”*.

Pretendendo ser um contributo para a avaliação do desempenho, tentaremos identificar que métricas e procedimentos poderão ser utilizados. Para avaliar da sua relevância, os parâmetros especificados serão aplicados a um caso prático, de um sistema que opera em tempo real.

A uma segunda questão, que tentaremos responder, no estudo de caso, *“Será possível, com baixo custo e risco, criar aplicações simples, que proporcionem vantagem competitiva?”*, convencidos que poderá ser um contributo para as organizações, especialmente as que operam na área de abastecimento público. As vantagens que analisaremos serão a redução de custos operacionais e a qualidade do produto.

No estudo de caso investigaremos as seguintes hipóteses:

1. A implementação de um Sistema Pericial pode reduzir os custos energéticos, melhorando assim a eficiência do sistema global;
2. Podemos melhorar a qualidade do serviço, mantendo uma pressão constante na rede, sem comprometer os custos energéticos.

O documento está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo I – Breve introdução, onde são referidos alguns dos benefícios reportados, o problema que motivou o trabalho e as questões a que tentaremos responder;

Capítulo II – Enquadramento do trabalho, objectivos e metodologia utilizada;

Capítulo III – Apresentação dos conceitos teóricos relacionados com os Sistemas Periciais, nomeadamente os seus componentes, a tomada de decisão, a representação do conhecimento, os potenciais benefícios e limitações e as categorias genéricas;

Capítulo IV – Discussão da problemática da avaliação de desempenho;

Capítulo V – Apresentação da metodologia e dos parâmetros de avaliação descritos na literatura e os que nos parecem mais relevantes;

Capítulo VI – Apresentação do estudo de caso, onde efectuaremos uma avaliação de um sistema com os parâmetros especificados anteriormente;

Capítulo VII – Apresentação das conclusões e desenvolvimentos futuros.

Capítulo II - Enquadramento

*“Not everything that can be counted counts and
not everything that counts can be counted.”*

Albert Einstein

O contexto actual, globalização, abertura dos mercados, mudanças e complexidade do meio ambiente das organizações, quantidade crescente de informação, necessidade de decisões rápidas e eficazes, apontam para ferramentas flexíveis e adaptáveis num curto espaço de tempo (Turban e Liebowitz, 1992).

As organizações necessitam disseminar conhecimento, e nesse aspecto, os Sistemas Periciais, como ferramenta de treino, encurtam o tempo de aprendizagem e aumentam a experiência (Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga, 2002), disponibilizam o conhecimento 24 horas por dia e no local necessário, melhorando a eficiência e eficácia do processo de tomada de decisão organizacional dos não especialistas (Motiwalla e Fairfield-Sonn, 1998).

Estes sistemas têm ganho credibilidade e larga aplicação nas organizações, tendo-se tornado uma potente ferramenta para o negócio, para as organizações ganharem vantagem competitiva (Yoon, 1995). As aplicações de inteligência artificial, e os Sistemas Periciais em particular, são reconhecidos como proporcionando soluções

eficientes para um grande conjunto de problemas práticos (Durkin, 1996; citado por López, Flores e Garcia, 2003).

A Tabela II-1 apresenta uma breve comparação da utilização entre as várias tecnologias de suporte à decisão baseado na sua utilização, utilizadores alvo, metas, horizonte temporal, objectivos, foco do conhecimento, processo de decisão e o género de informação utilizada.

Tabela II-1 – Comparação de Tecnologias de Suporte à Decisão

Systems	DSS	EIS	ES	NN
Use	Active	Passive	Active	Active
Users	Line and Staff	Sénior Managers	Line and Staff Managers	Line and Staff Managers
Goal	Effectiveness	Expediency	Effectiveness and Efficiency	Effectiveness and Efficiency
Time Horizon	Present Future	Past Present	Past Present	Past Future
Objective	Flexibility	Internal and external monitoring	Expertise availability	Experience availability
Knowledge Focus	Decision	Business	Domain and experience	Learning by experience decision
Decision Process	Semi-structured	Non-structured	Non-structured	Non-structured
Information	Quantitative (modeling)	Quantitative and heuristic	Heuristic	Quantitative
Copyright © 2002, Idea Group Publishing				

(Cascante et al, 2002)

Os gestores seniores, apesar de algumas contribuições falhadas, ainda acreditam que os sistemas inteligentes podem contribuir para a eficácia organizacional e algumas estão estrategicamente dependentes deles (Gill, 1995; citado por Gregor, 1999).

Um sistema computadorizado de suporte à decisão é necessário por várias razões, das quais referimos algumas apontadas por Turban e Aronson (2000):

- Aumento da produtividade
 - Reunir um grupo de decisores, especialmente peritos, pode ser caro. Suporte computadorizado pode reduzir o tamanho do grupo e permitir que os membros do grupo estejam em diferentes locais, poupando custos em viagens.
- Suporte técnico
 - Muitas decisões envolvem cálculos complexos. Os dados podem estar armazenados em diferentes bases de dados ou em sítios da Internet, possivelmente fora da empresa.
- Suporte de qualidade
 - O computador pode melhorar a qualidade das decisões produzidas. Podem ser avaliadas mais alternativas, análises de risco podem ser executadas rapidamente e visões de peritos podem ser recolhidas mais rapidamente e a menor custo.
- Margem competitiva
 - As pressões competitivas tornam difícil o trabalho de tomada de decisão. As tecnologias de suporte à decisão, tais como os Sistemas Periciais, podem criar uma capacidade significativa, permitindo ao pessoal tomar rapidamente boas decisões, mesmo não possuindo algum conhecimento.

- Superação do limite cognitivo
 - A mente humana é limitada na sua capacidade para processar e armazenar informação.

Os benefícios da utilização de técnicas dos Sistemas Periciais na engenharia de processos incluem: aumento da produtividade, melhoria da qualidade, redução de custos, proporciona alta flexibilidade e confiança, operação em ambientes perigosos, trabalho com informação incompleta e incerta e aumento da habilidade na resolução de problemas (Turban, 1992, citado por Linkens, 1995).

No entanto, e apesar destas vantagens, a literatura aponta resultados contraditórios no desempenho. Várias questões têm sido colocadas sobre a eficácia da contribuição dos sistemas inteligentes para os decisores numa variedade de cenários (Grabowski e Sanborn, 2001). Enquanto uns atribuem um grande incremento de produtividade e substanciais benefícios para o consumidor, outros reportam a não existência de impactos na rentabilidade da empresa (Hitt e Brynjolfsson, 1996). Alguns apontam fracasso no investimento em sistemas, como por exemplo um estudo de Berndt e Morrison (1995) que verificou que por cada dólar gasto em tecnologias, em média, somente 0,8 do valor foi realizado. Outros, apontam benefícios, como, de aconselhamento online que aumentou a exactidão em 15% (de 80 para 95%), aumentou a satisfação dos clientes e reduziu substancialmente as despesas (Wanninger, 1998; citado em Gregor e Benbasat, 1999).

Frequentemente, as tecnologias da informação são utilizadas sem um entendimento da sua aplicabilidade, eficácia ou eficiência. “A Medição da eficácia dos Sistemas de Informação” tem sido consistentemente referida como uma das questões mais importantes pelos membros da “*Society for Information Management (SIM)*”, uma organização de executivos de sistemas de informação (Baatz, 1994; Berndt & Morrison, 1991; Brynjolfsson, 1993; citados por Myers, Kapellman e Prybutok, 1997).

As aplicações de Sistemas Periciais são bastante variadas e é esta variedade que contribui para a dificuldade na avaliação da sua eficácia. Porque cada sistema é único no planeamento e aplicação, o critério pelo qual o desempenho deve ser avaliado também varia. É obvio que uma considerável flexibilidade é necessária quando seleccionamos um critério de avaliação para assegurar que as questões pertinentes são colocadas (Murray, Sharp, Simpson e Priesmeer, 1998).

A avaliação de sistemas de informação, é reconhecido ser uma actividade complexa e com vários desafios. Não existe um acordo sobre a melhor forma de avaliar, o que e o como avaliar, quem envolver e dentro de que paradigma proceder (Klecun-Dabrowska e Cornford, 2001). Para Turban (1998), existem quatro tipos de questões a considerar no âmbito da avaliação de um sistema que são particularmente difíceis de responder: Que características devem ser avaliadas? Como deve ser avaliado o desempenho do sistema? Como seleccionar os problemas de teste? Como avaliar os erros do programa?

Pelos exemplos, pela bibliografia, e apesar dos debates dos gestores e académicos, as organizações continuam a não ter uma referência para medir o desempenho dos sistemas face aos objectivos da empresa. A medição do desempenho é um problema delicado e

complicado. Os sistemas não operam sozinhos e normalmente o seu desempenho também depende do operador (Grabowski e Sanborn, 2001).

Entendendo um negócio como um conjunto de actividades interdependentes pelo qual uma empresa cria valor para os seus clientes, valor esse transferido sob a forma de produtos ou serviços, a redução de custos em processos, seja da cadeia de valor ou das actividades de suporte, tornaram-se condição indispensável para a competitividade das organizações. As soluções baseadas em inteligência artificial, integradas nas organizações, visam o suporte à gestão, inserindo-se como potencial instrumento para a redução de custos, quer pela racionalização do uso de recursos operacionais, quer pela procura de soluções no planeamento logístico das actividades.

É nossa convicção que os Sistemas Periciais são um valioso contributo pela sua facilidade de construção. Qualquer um pode comprar um pacote por poucos Euros e desenvolver rapidamente um sistema (Turban e Liebowitz, 1992). Pela sua facilidade de crescimento, pode-se começar com pouco conhecimento e crescer dentro de um determinado domínio. Mas será que a percepção da eficácia dos seus conselhos necessita de clarificação? Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga (2002), citando um trabalho de Klein e Jiang (1999), aponta como positiva a resposta a esta questão.

Neste contexto, ambiente organizacional, necessidades, ferramentas disponíveis, problemas na avaliação das vantagens e benefícios, fazem com que a existência de metodologias e métricas para avaliação do desempenho dos sistemas de informação e em particular dos Sistemas Periciais tenham um papel preponderante para que as

organizações possam efectuar medições rigorosas e decidir sobre a vantagem da implementação de sistemas.

II.1. Objectivos

Este trabalho pretende atingir os seguintes objectivos: (i) contribuir para que os gestores de sistemas de informação tenham disponível uma metodologia e métricas para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais, (ii) avaliar a possibilidade de conceber sistemas de baixo custo mas que proporcionem retornos significativos.

O primeiro objectivo foi motivado pela falta de consenso relativa aos benefícios proporcionados pelos sistemas de informação e para a qual a literatura aponta como possibilidades para esta falta, as medidas utilizadas e as metodologias de análise.

O segundo objectivo surgiu no decorrer da análise bibliográfica, baseado na ideia para o futuro das tecnologias e sistemas de informação, lançada por Nicholas Carr¹, “as empresas já possuem tecnologias que podem, com um pouco de imaginação e investimento, contribuir significativamente para o seu desempenho”, e do sistema para o estudo de caso. Na bibliografia é referida a possibilidade de construir sistemas de baixo custo com retornos significativos e é esta possibilidade que exploraremos no estudo de caso.

¹ Nicholas G. Carr, um escritor de negócios, que publicou um artigo na HBR, com o título “IT Doesn’t Matter”, que gerou polémica e um aceso debate entre alguns académicos e profissionais. No Centro de Congressos do Estoril, em Outubro de 2004, na 7ª edição de “Directions – IT Governance and Business Value”, colocou a questão e apontou a ideia chave do futuro “Utilização eficiente das TI que a organização possui em detrimento de tecnologias muito sofisticadas mas que as organizações não necessitam.”

II.2. Metodologia

O método seguido neste trabalho assentou, essencialmente, no seguinte:

1. Levantamento e análise bibliográfica.
2. Proposta de metodologia e métricas.
3. Aplicação a caso prático.
 - 3.1. Desenvolvimento de um protótipo,
 - 3.2. Simulação com base nos dados históricos,
 - 3.3. Avaliação recorrendo aos parâmetros especificados.

O levantamento e análise bibliográfica tiveram como fontes a Internet e livros da especialidade. A pesquisa na Internet foi efectuada recorrendo aos motores de busca: “www.proquest.com”, “www.google.pt”, “www.findarticles.com” e “www.alltheweb.com”. Cruzando as palavras-chave relacionadas com o tema: “avaliação / evaluation”, “sistemas de informação / information systems”, “sistemas periciais / expert systems”, “benefícios / benefits”, “medidas / measures”, “desempenho / performance”, etc. Com base nesta pesquisa foram recolhidos vários artigos, que após análise, foram incluídos na bibliografia e as suas referências originaram novas pesquisas, quer para validar a informação quer como contribuição de nova informação. Os livros consultados foram os de autores referência: Turban, Liebowitz, Waterman, Palma dos Reis e Jackson.

Através da análise bibliográfica, foi elaborada uma tabela com as métricas reportadas pelos estudos. Com base nesta tabela, elaboramos as métricas que nos parecem mais relevantes para a avaliação do desempenho dos Sistemas Periciais.

Para avaliar a relevância e interesse os parâmetros foram aplicados a um caso prático. A metodologia seguida na avaliação deste caso será descrita no capítulo do estudo de caso.

Capítulo III - Sistemas Periciais

Em situações de decisão estruturadas e repetitivas, pode-se beneficiar de um sistema pericial. Estes sistemas utilizam o conhecimento obtido, na resolução de problemas estruturados, comportando-se como uma réplica do perito, ou dos peritos, que forneceram o conhecimento.

(Palma dos Reis, 1999, p. 51)

Os Sistemas Periciais podem ser uma boa solução a um custo razoável. Normalmente, os peritos humanos são caros. Na Tabela III-1, apresentamos algumas das características do conhecimento humano face ao artificial:

Tabela III-1 – Conhecimento Humano vs Artificial

Conhecimento Humano	Conhecimento Artificial
Perecível	Permanente
Difícil de transferir	Fácil de transferir
Difícil de documentar	Fácil de documentar
Imprevisível	Consistente
Caro	Razoável
Discriminatório	Imparcial
Social	Individualizado
Criativo	Sem inspiração
Adaptável	Inflexível
Foco amplo	Foco restrito
Senso comum	Técnico

Os Sistemas Periciais têm passado por várias fases, desde o seu aparecimento. Numa primeira fase começaram por ser meros solucionadores de problemas. Com o avanço da investigação em Inteligência Artificial, passou-se a uma segunda fase em que para além de solucionar problemas procurava-se também representar o conhecimento. De seguida

evoluiu-se para conhecimento especializado num domínio restrito, conduzindo-se posteriormente a investigação para a utilização de Sistemas Periciais em ambientes de tempo real. Na Tabela III-2, são apresentadas algumas características diferenciadoras dos Sistemas Convencionais e Periciais.

Tabela III-2 – Sistemas Convencionais vs Periciais

Convencionais	Periciais
Informação e o seu processamento são normalmente combinados num programa sequencial.	A base de conhecimento é claramente separada do mecanismo de processamento (inferência), i. é, as regras de conhecimento são separadas do controlo.
Programa não comete erros (programadores ou utilizadores sim).	Pode cometer erros.
Normalmente, não explica porque necessita dos dados ou as conclusões.	Explicação faz parte da maioria dos SP.
Requer a totalidade dos dados.	Não requer a totalidade dos factos iniciais. Tipicamente pode chegar a conclusões razoáveis sem a totalidade dos factos.
Mudanças no programa são tediosas.	Mudanças nas regras são fáceis.
Sistema só funciona quando está completo.	Pode funcionar somente com algumas regras.
Execução é efectuada passo a passo.	Execuções são efectuadas utilizando heurísticas e lógica.
Manipulação efectiva de grandes bases de dados.	Manipulação de grandes bases de conhecimento.
Representação e utilização de dados.	Representação e utilização de conhecimento.
Eficiência é normalmente o principal objectivo.	Eficácia é o maior objectivo.
Facilidade no tratamento de dados quantitativos.	Facilidade no tratamento de dados qualitativos.
Utiliza representação numérica dos dados.	Utiliza representação simbólica e numérica do conhecimento.
Captura, aumenta e distribui acesso a dados numéricos ou informação.	Captura, aumenta e distribui acesso a decisões e conhecimento.

(Turban e Aronson, 2000)

Um Sistema Pericial pode não chegar a uma conclusão óptima, errar algumas conclusões, como qualquer perito humano, mas a conclusão é aceitável, ou a melhor a que se pode chegar com o conhecimento disponível. Assim, devemos esperar que um Sistema Pericial: tenha um desempenho semelhante a um perito, resolva os problemas

no domínio para o qual foi concebido, tenha capacidade para explicar como chegou à conclusão, porque razão não foi possível chegar a uma conclusão, porque é que coloca a questão, seja fácil a manutenção da sua base de conhecimento e que este conhecimento seja apresentado de forma atraente e legível.

Neste capítulo começaremos por definir os Sistemas Periciais, descreveremos os seus benefícios e limitações, os seus componentes, a tomada de decisão, a representação do conhecimento, as categorias genéricas e as situações em que poderão ser utilizados.

III.1. Definição

De acordo com Jackson (1999), um Sistema Pericial é um sistema informático que utiliza conhecimento na resolução de problemas normalmente resolvidos por humanos. É um programa de computador que representa e raciocina com conhecimento de algum(ns) perito(s) no assunto, visando a resolução de problemas ou aconselhamento.

Na literatura encontramos várias definições para estes sistemas, Jackson (1999), Palma dos Reis (1999), etc. No entanto, existe em todas elas um conjunto de especificações equivalentes. Poderemos afirmar que um Sistema Pericial:

- É um programa de computador que se comporta como um perito humano,
- Possui conhecimento, de um ou vários peritos,
- Resolve problemas numa área de conhecimento específica,
- Aplica conhecimento especializado à resolução dos problemas,
- Tem a faculdade de explicar o seu raciocínio para a decisão tomada,

- Pode cumprir completamente uma função que normalmente requer um especialista humano ou pode ser um assistente para o decisor humano.

Dentro dos Sistemas Periciais poderemos destacar um tipo de sistema que tem crescido substancialmente nos últimos tempos, até porque será o tipo de sistema que avaliaremos no estudo de caso, os Sistemas Periciais de Tempo Real.

Um sistema de tempo real define-se como sendo um sistema em que a correcta execução não depende apenas da execução lógica das operações mas do tempo em que essas operações são executadas. A resposta do sistema terá de estar disponível quando necessária. Tem um rígido limite de tempo de resposta, a qual deve ser suficientemente rápida para controlar o processo. O sistema produz sempre uma resposta no tempo em que é necessária (Turban e Aronson, 2000).

No controlo de tempo real é muito importante o Período de Amostragem. O tempo que o motor de inferência demora a avaliar as regras está directamente relacionado com esse período, daí que se utilize Raciocínio Progressivo.

A ideia geral do raciocínio progressivo é:

- Dividir o raciocínio em várias bases de regras. Cada parte da base de regras detalha melhor o problema.
- Quando uma base de regras foi avaliada e continua a existir tempo, avalia-se uma nova base de regras com conhecimento mais aprofundado, para obter uma melhor conclusão.

- Em qualquer altura o sistema pode utilizar uma das conclusões intermédias, desde que pelo menos uma conclusão tenha sido gerada, diminuindo o período de amostragem.

III.2. *Benefícios e Limitações*

Turban e Liebowitz (1992) dizem-nos que os Sistemas Periciais podem ser utilizados para ganhar vantagem estratégica através da sua capacidade para aumentar a eficiência (redução de custos) assim como aumentar a eficácia (melhores produtos e serviços).

Os benefícios apontados na literatura são variados, como veremos adiante, atendendo às características destes sistemas, no entanto podemos mencionar os descritos por Turban e Aronson (1998 e 2000):

- Aumenta output e produtividade (os Sistemas Periciais podem trabalhar mais rápido do que os humanos),
- Diminui o tempo da tomada de decisão (utilizando as recomendações do sistema os humanos podem tomar decisões mais rapidamente),
- Aumenta a qualidade dos processos e produtos (aumenta a qualidade através de recomendações consistentes e reduzindo a taxa de erros),
- Reduz tempo manutenção (reduz significativamente o tempo de paragem das máquinas),
- Captura a perícia (a perícia, que é escassa e cara, fica na empresa caso o perito a abandone),
- Flexibilidade (pode oferecer flexibilidade quer nos serviços quer na indústria),

- Facilita a operação de equipamentos (torna os equipamentos complexos fáceis de operar através do treino e ajuda),
- Elimina a necessidade de equipamento caro (no caso da monitorização e controlo, pode desempenhar as mesmas tarefas a custos mais baixos através da sua facilidade de investigar a informação proveniente dos instrumentos mais a fundo e rapidamente),
- Opera em ambientes perigosos (onde dificilmente os humanos poderiam operar),
- Acessibilidade para o conhecimento e serviços de ajuda (torna o conhecimento acessível, libertando os peritos de tarefas rotineiras),
- Integração de opiniões de vários peritos (na base de conhecimento),
- Habilidade para trabalhar com informação incompleta e incerta,
- Proporciona treino (os novatos podem aprender com o conhecimento existente no sistema simulando casos),
- Melhora da resolução de problemas e a tomada de decisão,
- Melhora os processos de tomada de decisão,
- Melhora a qualidade da decisão (são confiáveis, não ficam cansados nem chateados),
- Capacidade para resolver problemas complexos,
- Transferência de conhecimento para locais remotos,
- Podem proporcionar inteligência a outros sistemas (situação do sistema que apresentaremos adiante como caso prático).

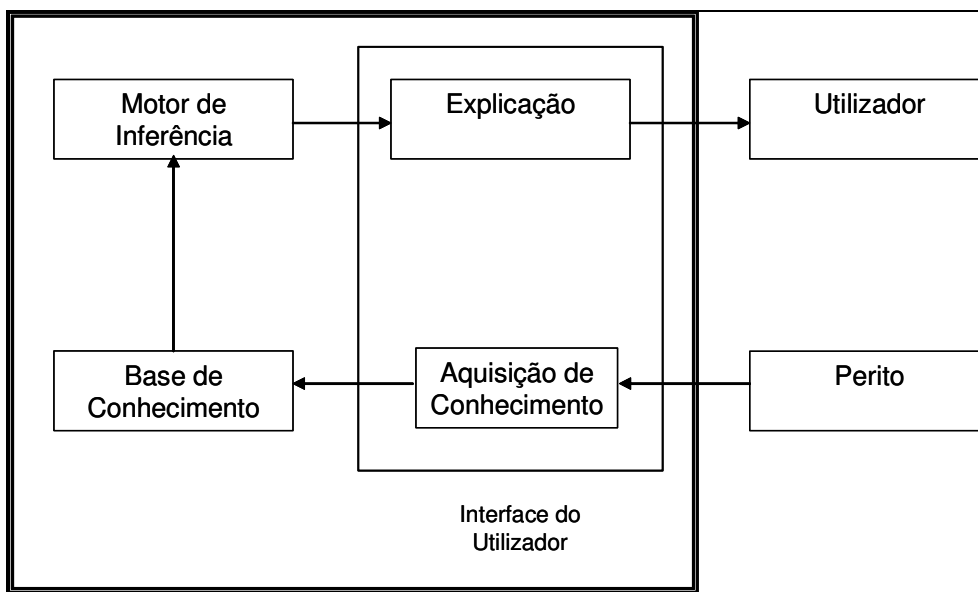
De uma forma genérica, baseado nos mesmos autores, e em Palma dos Reis (1999), poderemos apresentar como problemas e limitações, na concepção do sistema e no seu funcionamento:

- O conhecimento nem sempre está disponível (para introduzir na base de conhecimento),
- A perícia não é fácil de ser extraída aos humanos,
- Cada abordagem dos peritos pode ser diferente, mas correcta,
- É duro, até mesmo para um perito altamente qualificado, trabalhar debaixo da pressão do tempo,
- Os utilizadores de Sistemas Periciais têm os seus limites cognitivos,
- Os Sistemas Periciais trabalham somente num determinado domínio,
- Muitos peritos não têm meios independentes de validar as suas conclusões,
- O vocabulário dos peritos é normalmente limitado e altamente técnico,
- Os engenheiros do conhecimento são raros e caros,
- Falta de confiança dos utilizadores,
- A transferência de conhecimento está sujeita à percepção do anfitrião e julgamentos enviesados,
- Os Sistemas Periciais podem não conseguir chegar a conclusões,
- Os Sistemas Periciais por vezes produzem recomendações incorrectas,
- Dificuldade em entender a temporalidade do conhecimento,
- Falta de senso comum,
- Dificuldade em gerir a ambiguidade.

III.3. Componentes do Sistema

Basicamente um Sistema Pericial é composto por Conhecimento mais Inferência. Poderemos considerar de uma forma genérica que os componentes de um Sistema Pericial são:

Figura III-1 – Componentes de um Sistema Pericial



(Palma dos Reis, 1999)

- **Base de Conhecimento**, local onde reside o conhecimento do domínio visado pelo Sistema Pericial. Armazena o conhecimento necessário à tomada de decisão.
- **Motor de Inferência**, responsável pelo controlo do sistema e tomada de decisão. Usa o conhecimento da base de conhecimento para resolver o problema específico com os dados contidos na base de factos.
- **Interface**, contém os ecrãs do sistema desenvolvidos para interagir com os utilizadores. A interface do utilizador inclui dois componentes, o componente de aquisição de conhecimento e o componente de explicação. O componente de aquisição de conhecimento é utilizado pelo perito quando está a “ensinar” o

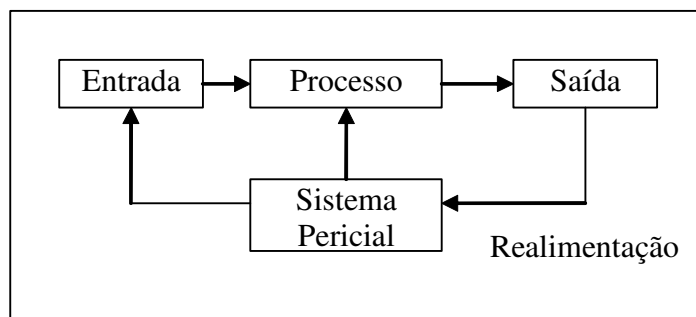
sistema, ou seja, a incluir no sistema o conhecimento necessário para que este tome as decisões correctas. O componente de explicação interage com o utilizador.

- **Memória de trabalho**, armazena dados, informação ou conhecimento específicos do problema em análise com vista a auxiliar no funcionamento dos outros módulos.
- **Módulo de explicações**, onde se constroem as razões porque uma dada conclusão foi ou não obtida, ou, ainda, porque se está a efectuar determinada pergunta. Componente que explica o modo como as soluções foram obtidas e justifica os passos efectuados.

A Base de Conhecimento depende do domínio. O Motor de Inferência e o Interface com o Utilizador, em princípio, não dependem do domínio. O perito, ou peritos, são a fonte de conhecimento do sistema.

Os Sistema Periciais são frequentemente integrados (Figura III-2) com, ou mesmo embutidos dentro de, outras tecnologias/sistemas (Turban e Aronson, 2000).

Figura III-2 – Esquema de SP integrado



Entrada

Elementos que entram no sistema (dados, matéria prima, ...).

Processo	Elementos necessários para converter ou transformar entradas em saídas.
Saída	Produtos finais ou consequências retornadas.
Realimentação	É o fluxo de informação, vindo da saída que realimenta o Sistema Pericial, relativo à saída ou desempenho do sistema. O Sistema Pericial compara os valores da saída com os resultados esperados, ajusta as entradas e possivelmente os processos, para os mover para perto dos objectivos desejados.
Sistema Pericial	Pode, ou não, interagir com utilizadores humanos

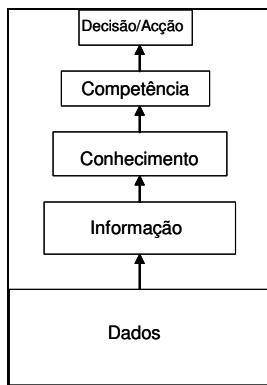
Possíveis configurações:

Stand-Alone	Interagindo apenas com utilizadores humanos,
Integrado	Integrado num ambiente computacional, interagindo com este e também com utilizadores humanos,
Embebido	Completamente embebido num ambiente computacional.

III.4. Tomada de Decisão

Para tomar decisões é necessário possuir conhecimento e competências para tal, como poderemos ver pela estrutura necessária para a decisão/acção (adaptada de Ramos, 2001), a que chamamos Bases da Decisão (Figura III-3).

Figura III-3 – As Bases da Decisão



Os dados são importantes, e normalmente em abundância, pois alimentam o sistema. A informação estruturada é um conceito superior aos dados, ocupando menos volume (em menor quantidade) mas sendo mais importante. O conhecimento é o que verdadeiramente interessa a quem tem de tomar decisões. Quem detém competência também detém conhecimento, residindo a diferença no facto de saber identificar melhor a adequação desse conhecimento e saber quando e como ele deve ser usado. A competência atribui-se normalmente a alguns humanos, os especialistas/peritos. O que realmente interessa é a capacidade de tomar decisões e agir atempadamente.

Tabela III-3 – Características das Actividades de Decisão

	Estratégicas	Operacionais
Pessoal	Executivos	Funcionários
Complexidade	Elevada	Baixa
Estrutura	Limitada	Elevada
Fontes de Informação	Externas	Internas
Precisão da Informação	Estimativas	Elevada
Detalhe da Informação	Sumariada	Detalhada
Tempo	Longo Prazo	Imediato
Risco e Potencial Benefício	Elevado	Reduzido
	DSS	ES

(Palma dos Reis, 1999)

O motor de inferência utiliza o conhecimento existente na base de conhecimento para a resolução de problemas ou tomada de decisão. Para tal, o motor de inferência deverá seleccionar, activar, compatibilizar e extrapolar as regras existentes na base de conhecimento. (Palma dos Reis, 1999).

As estratégias de inferência explicitam de que forma o Motor de Inferência usa a base de conhecimento para raciocinar. Os métodos mais populares, segundo Turban e Aronson (2000), de controlo (inferência) para os sistemas baseados em regras são o encadeamento para a frente (directo) e o encadeamento para trás (inverso).

Encadeamento para a frente, ou directo (“*Forward Chaining*”) – A estratégia de raciocínio por Encadeamento Directo é a que é mais usada pelo ser humano, sendo portanto vulgar nos Peritos. Contudo, nada obriga a que a estratégia de raciocínio do Sistema Pericial tenha o mesmo sentido que a usada pelo Perito. Nesta estratégia, os

factos básicos vão originar o “disparo” de regras, as quais irão levar à obtenção de conclusões intermédias, que, em conjunto com os factos básicos irão originar o “disparo” de mais regras. O processo continua até que se obtenham conclusões finais, se tal for possível, e não haja mais lugar à possibilidade de disparo de novas regras.

Mais apropriado para: planeamento, monitorização, controlo e interpretação.

Encadeamento para trás, ou inverso (“*Backward Chaining*”) – No Encadeamento

Inverso tenta-se provar conclusões finais que aparecem no lado direito das regras (LDR). Essas conclusões finais também são designadas como objectivos (“*goals*”), sendo costume dizer-se que o motor de inferência com encadeamento inverso é orientado aos objectivos (*goal driven*). Para provarmos uma dada conclusão, teremos que provar as condições que aparecem no lado esquerdo da regra (LER), que poderão ser suportadas por conclusões intermédias de outras regras ou por factos básicos. Sendo assim, o mecanismo de encadeamento inverso assume um carácter essencialmente recursivo (para provar uma conclusão vamos ter que provar as condições). Observe-se que a Base de Regras pode ser expressa do mesmo modo que no caso do encadeamento directo, apenas a interpretação da regra é feita em sentido inverso.

Mais apropriado para: diagnósticos (uma vez que temos uma hipótese que precisa ser provada para se chegar a uma conclusão).

Das características dos Sistemas Periciais, relacionadas com a decisão, destacamos as explicações sobre a decisão. Os principais tipos de explicações são:

- **Como? (*How*)** – Servem para que o Sistema Pericial justifique o caminho que seguiu para obter uma dada conclusão.

- Por que não? (*Why not*) – Servem para que o Sistema Pericial justifique a razão pela qual uma determinada conclusão não foi obtida.
- Porquê? (*Why*) – Servem para que o Sistema Pericial justifique porque razão põe uma determinada questão ao utilizador:

As Explicações tornam o desempenho do sistema transparente para os utilizadores, têm influência para a aceitação dos sistemas inteligentes por parte dos utilizadores e melhoram a confiança dos utilizadores nos seus conselhos (Hayes-Roth and Jacobstein, 1994; citado por Gregor (1999)).

III.5. Representação do Conhecimento

A característica distinguível dos sistemas inteligentes, nomeadamente os Sistemas Periciais, é conterem uma componente de conhecimento.

Podemos definir os tipos de Conhecimento (Turban e Aronson, 2000), como:

Declarativo – descreve o que é conhecido acerca de um determinado problema. Conta os factos. É expresso de declarações factuais. Ex.: “Fumar pode provocar o cancro no pulmão.”

Procedimental – descreve como um problema é resolvido ou como agir perante uma dada situação (como fazer). Regras, estratégias, agendas e procedimentos são representações típicas para este tipo de conhecimento.

Metaconhecimento – conhecimento acerca do próprio conhecimento. Serve para tornar o processo de raciocínio e inferência mais eficiente. Nos Sistemas Periciais, é o

conhecimento acerca da operação de sistemas baseados no conhecimento, isto é, acerca das suas capacidades de raciocínio.

Heurístico – reflecte o conhecimento obtido com toda a experiência que se detém ao lidar com um determinado tipo de problema. É obtido pela experiência prévia na resolução de um grande número de problemas de uma determinada especialidade, é essencialmente empírico. Muitas vezes assume o aspecto de regras de bom senso ou de “*Rules of Thumb*”.

Estrutural – descreve a estruturação do conhecimento. Este tipo de conhecimento descreve o modelo mental que o perito tem na resolução de um determinado tipo de problema.

O conhecimento de um perito, é o conhecimento catalogado na base de um Sistema Pericial: Não é geralmente baseado em definições claras nem em algoritmos precisos; É composto por teorias de carácter geral, mas também por regras práticas, estratégia e truques aprendidos com a experiência (as heurísticas) utilizadas para simplificar a resolução de problemas, para identificar situações comuns, etc; É muito dependente do domínio; Está, continuamente, sujeito à mudança.

Para representar este conhecimento, tácito e explícito dos humanos, nos Sistemas Periciais, a forma mais comum é através de regras (Palma do Reis, 1999; Gregor, 1999; Turban e Aronson, 2000).

Segundo Jackson (1999), é provavelmente um axioma da inteligência artificial e da psicologia moderna que o comportamento inteligente seja governado por regras. Na inteligência artificial, as regras representam um papel bastante mais directo na produção

de comportamento. Regras de produção, são um formalismo que viu algum uso na teoria de automação, gramáticas formais e no projecto de linguagens de programação, antes de ser pensado para a modelação psicológica e Sistemas Periciais. Na literatura de Sistemas Periciais, é por vezes, chamado de regras Condição-Acção ou regras Situação-Acção (Jackson, 1999).

Podemos mencionar algumas vantagens das regras (Turban e Aronson, 2000):

- Fáceis de entender (forma natural de conhecimento),
- Fácil derivar inferência e explicações,
- Fácil de modificar e manter,
- Fácil combinar com a incerteza,
- São frequentemente independentes.

Propriedades da Representação de Conhecimento com Regras:

Modularidade – cada regra define uma pequena parte do conhecimento relativamente independente das outras regras,

Incrementalidade – novas regras podem ser acrescentadas à Base de Conhecimento de maneira relativamente independente,

Possibilidade de Modificação – regras podem ser modificadas de maneira relativamente independente,

Transparência – permite explicações de raciocínio (questões Como? e Porquê?).

As regras têm o formato:

<regra Identificador>: **Se** <LHS> **Então** <RHS>

Onde:

<regra Identificador> - destina-se a identificar a regra.

<LHS> – “Left-Handed Side” é conhecido com o lado esquerdo e contempla as condições que terão de ser atendidas para que a regra seja aplicável.

<RHS> – “Right-Handed Side” corresponde às conclusões ou acções que se podem obter caso as condições sejam verdadeiras.

III.6. Categorias Genéricas

Os Sistemas Periciais podem ser utilizados num conjunto de situações, tais como, o estabelecimento de diagnósticos, a monitorização e controlo das actividades ou processos, a reparação de equipamentos ou a instrução de formandos (Palma dos Reis, 1999).

Os Sistemas Periciais podem ser classificados de várias formas. Uma das formas é pelo tipo de tarefa a que se dirige. Classificação segundo Hayes-Roth et al. (1983) referida por Jackson (1999):

Interpretação – infere descrições de situações a partir de observações, ou dados de sensores, fazendo uma análise e procurando determinar as relações e seus significados. As tarefas típicas incluem, vigilância, interpretação de sinais, esclarecimento de estruturas químicas e compreensão de voz, texto e imagem.

Previsão – infere consequências prováveis de situações ou eventos. Baseia a solução na análise do passado, de dados recebidos. As tarefas típicas incluem a previsão do tempo e previsões financeiras.

Diagnóstico – procura identificar os problemas, com os quais nos estamos a defrontar, em função do conjunto de dados ou informações que dispomos. Infere falhas de sistema através dos sintomas. Esta categoria inclui um largo espectro de tarefas no domínio da medicina, mecânica e electrónica.

Projecto – desenvolve configurações de objectos sob certos constrangimentos. Tarefas típicas incluem projecto de circuitos e planeamento de disposições óptimas de maquinaria num espaço confinado.

Planeamento – gera sequências de acções que garantam determinados objectivos. As tarefas típicas são o planeamento do movimento dos robôs e de rotas.

Monitorização – observa o comportamento do sistema ao longo do tempo para vigiar os desvios que ameaçam os objectivos traçados. Aplicações típicas envolvem o controlo de tráfego aéreo e monitorização de centrais eléctricas.

Depuração – confia nas capacidades de planeamento, projecto e previsão para criar especificações e recomendações para corrigir o problema diagnosticado.

Reparação – desenvolve e executa um plano para administrar o remédio prescrito. Estes sistemas incorporam depuração, planeamento e capacidades de execução.

Instrução – diagnostica e trata as disfunções dos estudantes em algum domínio.

Controlo – interpretando, prevendo, reparando e monitorizando o comportamento do sistema. Dirige o comportamento do sistema pela antecipação dos problemas, planeando soluções e monitorizando as acções necessárias. Governam o comportamento global do sistema.

Esta classificação recebeu várias críticas ao longo dos anos, principalmente porque parece uma mistura de diferentes dimensões e porque as categorias empregues não são

mutuamente exclusivas. Tem uma série de falhas (Jackson, 1999), pois, existem Sistemas Periciais que executam mais do que um tipo de tarefa.

Clancey (1985), referido por Jackson (1999), propôs uma análise alternativa em termos das operações genéricas sobre um sistema (entenda-se sistema como um sistema geral e não um Sistema Pericial). Clancey distingue entre operações sintéticas que constroem um sistema (Figura III-4) e operações analíticas que interpretam um sistema (Figura III-4).

Figura III-4 – Operações genéricas para sintetizar um sistema

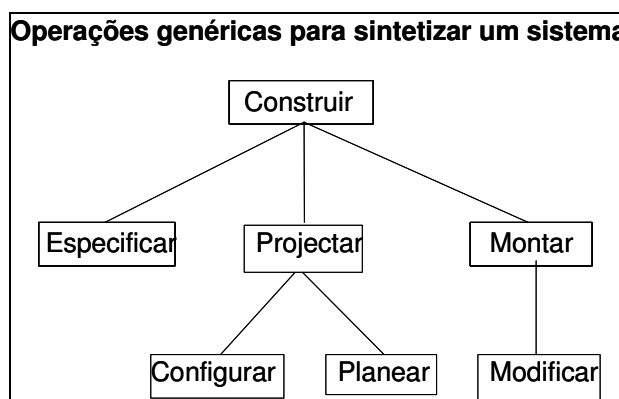
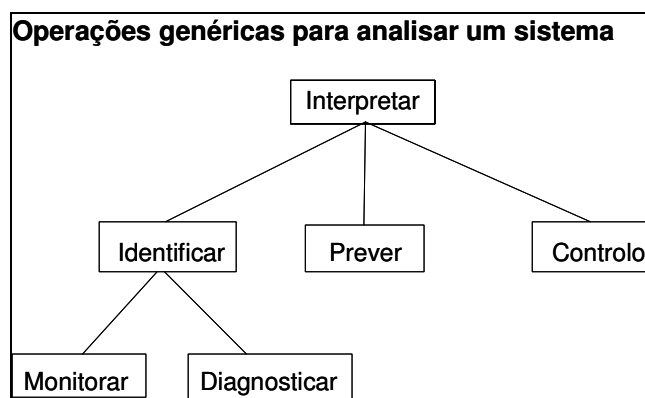


Figura III-5 – Operações genéricas para analisar um sistema



O interesse em classificar as tarefas dos Sistemas Periciais não é puramente teórico. Idealmente, gostaríamos de mapear os métodos de resolução de problemas sobre tarefas,

de forma a podermos dizer, para uma dada tarefa, quais os métodos que são mais apropriados (Jackson, 1999).

Capítulo IV - Avaliação de Desempenho

Na Avaliação de Desempenho seleccionam-se um conjunto de medidas ou indicadores que melhor representam a estratégia e os objectivos da empresa. Estes indicadores dos níveis de desempenho devem ser determinados pelos factores críticos de sucesso do negócio em causa.

(Neves, 2003, p. 7)

A avaliação de sistemas, como referem alguns autores, é um conceito amplo que coloca algumas dificuldades. Parece não existir consenso do que deve ser entendido por avaliação, do que, como e quando avaliar. Entendendo avaliação como um estudo concebido e conduzido para ajudar a avaliar o mérito e valor de um objecto, e qual a extensão para o qual cada objectivo declarado foi alcançado, iremos neste capítulo descrever alguns dos entendimentos reportados pela literatura. Tentaremos mostrar o que deve ser entendido por avaliação, como avaliar e o que avaliar, com o enfoque nos sistemas de informação e, especialmente nos sistemas baseados em conhecimento, mais concretamente os Sistemas Periciais.

O capítulo está dividido em três partes: na primeira descreveremos alguns conceitos sobre avaliação, na segunda as questões que devem ser colocadas e as dificuldades encontradas e por ultimo apresentaremos algumas abordagens metodológicas mencionadas na literatura.

O objectivo da avaliação é: avaliar o valor global de um sistema, além de avaliar níveis aceitáveis de desempenho, analisar se os sistemas são utilizáveis, eficientes e os custos efectivos (Turban e Aronson, 2000); reflectir a aceitação do sistema pelos utilizadores, o desempenho na sua aplicação e mostrar a sua utilidade ((Wentworth, Knaus e Aougab, 1995); verificar o sucesso do sistema, através de um standard mínimo aceitável (Anumba e Scott, 2001).

As dificuldades colocadas na avaliação de um sistema, prendem-se com: a não existência de uma maneira formal para provar se uma dada resposta é correcta ou a melhor possível (Waterman, 1986); as expectativas, relativas ao desempenho dos sistemas, serem muitas vezes nebulosas (Jackson, 1999); qualquer julgamento do potencial do sistema (ex ante) ou do retorno (ex post) depender de vários factores, frequentemente relacionados. Não é claro como medir o sucesso do sistema, ou até qual o “sucesso” que realmente interessa (Klecun-Babrowska e Conford, 2001).

Turban e Aronson (2000) apontam como dificuldades, na avaliação de um Sistema Pericial: (1) Que características devem ser avaliadas? - O desempenho é o factor principal. No entanto, o interface do sistema, ou a facilidade de utilização, parecem ser, também, a chave para a sua aceitação; (2) Como deve o desempenho ser avaliado? - Devido à natureza das aplicações dos Sistemas Periciais não é fácil definir um standard em relação ao qual comparar o desempenho do sistema. (3) Como devem ser seleccionados os problemas de teste? - Em certas áreas é difícil arranjar estudos realistas; (4) Como deve uma avaliação detectar os erros de programa? - Em certas áreas tem interesse a procura de padrões de erro, os tipos de enganos.

Existem várias formas de avaliar e comparar Sistemas Periciais, mas a mais óbvia é a comparação com um perito humano. No desenvolvimento do sistema, o perito e o engenheiro do conhecimento trabalham juntos num conjunto de exemplos críticos até o programa os conseguir resolver todos. A avaliação envolve exemplos não testados pelo sistema e a análise se os seus conselhos coincidem com os do perito (Jackson, 1999).

Barr (1999), refere que a avaliação de um sistema baseado em conhecimento é um problema multifacetado, com numerosas abordagens e técnicas. Os resultados gerados pelo sistema devem ser avaliados junto com as suas características, a usabilidade do sistema, a facilidade de melhoramentos do sistema e o impacto nos utilizadores face à não utilização. O desempenho do sistema deve também ser avaliado à luz da utilização pretendida. Se o Sistema Pericial é para funcionar como um assistente inteligente então deve satisfazer o critério de ser um útil adjunto para resolver o problema. Em 2001, Barr refere que, se um sistema inteligente é construído baseado na interpretação do domínio do problema, com a expectativa que ele se comporte de forma equivalente ao comportamento do perito, o desempenho humano deverá ser o padrão usado para avaliar o sistema. Turban e Aronson, em 2000, apontam que o método para avaliar um Sistema Pericial deve ser a comparação do seu desempenho com um critério aceite, tal como, a decisão de um perito. Hollnagel (1992), citado por Boritz (1992), sugere que o desempenho dos Sistemas Periciais devem ser comparados com o desempenho dos peritos. A avaliação dos resultados gerados pelo sistema envolve a comparação dos seus resultados com os do sistema actual.

O sucesso de um sistema de informação, geralmente, pode ser avaliado através de: Qualidade da informação proporcionada aos utilizadores (a satisfação do utilizador com a informação é provavelmente a medida de sucesso mais usada), medidas de eficácia organizacional focam-se nos resultados actuais, a satisfação do utilizador foca-se no processo; Impacto do sistema no pensamento, decisões e acções dos utilizadores (o impacto individual, nos utilizadores, pode ser medido utilizando a aprendizagem, tomada de decisão e mudanças de comportamento); Impacto do sistema ao nível dos custos e benefícios organizacionais (a medida dos custos e benefícios foram as mais utilizadas).

Os investigadores académicos têm tendencialmente evitado medidas de desempenho organizacional devido às dificuldades em isolar o esforço do Sistemas de Informação de outros efeitos que influenciam o desempenho organizacional (Grover et al., 1996). Na prática, avaliações ex-ante são utilizadas mais frequentemente, enquanto os académicos tem preferido avaliações ex-post (Parker et al., 1988).

Waterman (1986) aponta que, para avaliar o desempenho do sistema (protótipo), devemos colocar o seguinte tipo de questões: O sistema toma as decisões que os peritos, na generalidade, acham apropriadas?; As regras de inferência são correctas, consistentes e completas?; O sistema dá explicações adequadas, descrevendo como e porquê tomou as decisões?.

Na avaliação da utilidade, devem ser colocadas as questões: A solução do problema ajuda o utilizador de forma significativa?; As conclusões do sistema estão apropriadamente organizadas e apresentam um grande nível de detalhe?; O sistema é

suficientemente rápido para satisfazer o utilizador?; O interface é suficientemente amigável?

Hitt e Brynjolfsson (1996) referem que é útil entender que o valor das tecnologias não é uma única questão, mas sim composta por vários assuntos relacionados, porém bastante distintos: produtividade, rentabilidade empresarial e valor para o consumidor.

Relacionado com a primeira questão, a pergunta é se as tecnologias facultam mais “outputs” para uma mesma quantidade de “inputs”. A segunda considera se a empresa é capaz de usar as tecnologias para ganhar vantagem competitiva e lucros substanciais. A questão final preocupa-se com a magnitude dos benefícios passados aos consumidores, ou talvez reclamados por estes. Demonstram que para os mesmos dados, as tecnologias parecem incrementar a produtividade e proporcionar benefícios substanciais para os consumidores, mas não é clara uma ligação empírica entre os benefícios e a rentabilidade da empresa ou o preço das acções. Aumento na eficiência (e portanto na produtividade) pode ajudar a criar competitividade nas empresas, eliminando ineficiências, e consequentemente a reduzir os preços, logo, não se reflecte nos lucros, mas sim em ganhos para o consumidor.

Uma das metodologias, referida por Turban e Aronson (2000), tem por base os Factores Críticos de Sucesso (FCS), onde escolhemos os factores que são realmente importantes numa situação específica e estudamo-los com cuidado e debaixo de um plano de controlo apertado.

Menzies (2000) apresenta também um método para uma avaliação objectiva baseada nas Métricas Críticas de Sucesso, i.e., alguma medida deduzida do sistema, a qual demonstre conclusivamente que o sistema é um sucesso. Se uma tal medida é observada, então o sistema será julgado como um sucesso, indiferentemente de outras medidas críticas menores. A métrica deverá ser fundamental para o negócio. Não devem partir do sistema, não se referem às propriedades internas do sistema, mas sim derivadas de utilizadores ligados ao negócio.

Na área industrial, os Sistemas Periciais podem, frequentemente, serem avaliados por experimentação. Implementando um sistema e comparando com outro equipamento sem sistema, por ex., na manutenção preventiva. A taxa de paragens, reparações e custos de manutenção sob os dois métodos podem ser comparadas para determinar qual é superior (Turban e Aronson, 2000)

Hayes-Roth et al. (1983), citado por Anumba e Scott (2001), advogam que a melhor forma para avaliar e testar a eficiência do sistema é torná-lo satisfatório para os utilizadores e responder ao seu feedback. Rafea e Mahmoud (2001) referem que a avaliação é o processo segundo o qual asseguramos a usabilidade, qualidade e utilidade dos Sistemas Periciais.

Através da definição dada pela ISO 9241 (*Ergonomic requirements for Office work with visual display terminals*) Part 11 (*Guidance on usability*) de usabilidade, Parker (1999) aponta a eficácia, eficiência e satisfação como um critério crítico que influenciam a

usabilidade do interface. Para avaliar este critério, ele precisa ser decomposto em sub-critérios e, finalmente, em medidas de usabilidade.

Medidas de eficácia relacionam a exactidão e perfeição, com a qual os utilizadores executam as tarefas especificadas. Medidas de eficiência relacionam os recursos que são necessários despende para executar as tarefas. Medidas de esforço cognitivo são derivadas indirectamente do esforço mental investido nas tarefas. Carga cognitiva pode ser medida por meios objectivos ou subjectivos. Satisfação é uma resposta subjectiva dos utilizadores para interacção com o sistema.

Segundo Turban e Aronson (2000) os sistemas são avaliados e analisados através das duas principais medidas de desempenho: eficácia e eficiência. Eficácia é o grau para o qual os objectivos são alcançados. Está então relacionada com os outputs do sistema (tais como vendas totais ou lucros por acção “*earnings per share*”). Eficiência é a medida da utilização dos inputs (ou recursos) para alcançar os outputs (ex. Quanto dinheiro é utilizado para gerar um certo nível de vendas).

Avaliação de sistemas tempo real foca-se tipicamente no desempenho do software: quão bem o sistema responde dentro de um determinado período de tempo, quão boa é a precisão, degradação do desempenho do sistema ao longo do tempo, desempenho na transição de estados e reversibilidade (Grabowski e Sanborn, 2001).

Pelos casos reportados, podemos verificar que as ideias chave da avaliação do desempenho dos sistemas, no que respeita às abordagens, estão relacionadas com a comparação com um critério aceite, por ex., o perito humano e/ou o sistema actual, com

a utilização pretendida para o sistema, com o impacto nos utilizadores, com os custos e benefícios para a organização e com os factores críticos de sucesso fundamentais para o negócio.

Não existe uma metodologia padronizada, para avaliação dos sistemas. No entanto verificamos, que as técnicas de avaliação podem ser divididas em dois grupos: Qualitativas – empregando comparações subjectivas de desempenho (satisfação, aceitação, interface, etc.),

Quantitativas – empregando técnicas estatísticas para comparar o desempenho contra casos de teste ou peritos humanos (eficiência, eficácia, impacto nos custos, etc.).

No que respeita à abordagem, podemos mencionar a baseada nos factores críticos de sucesso, para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais e o seu impacto na organização. A utilização desta metodologia e o critério de comparação, entre o desempenho com e sem sistema, parece-nos a melhor forma de avaliar os Sistemas Periciais.

Capítulo V - Metodologia e Parâmetros de Avaliação

“What we need is not opinions or impressions, but relatively objective measures of performance.”

(Cohen, 1995, p. 74)²

Na literatura podemos encontrar várias medidas, métodos e técnicas de avaliação de sistemas de informação e especificamente de Sistemas Periciais. No entanto, enquanto uns referem medidas relacionadas com o próprio sistema outros apontam medidas relacionadas com o utilizador, como sendo as mais importantes.

Neste capítulo, apresentaremos os parâmetros utilizados por alguns estudos, alguns métodos reportados na literatura, serão a base da metodologia que proporemos, a qual nos parece a mais apropriada para avaliação do desempenho, assim como as métricas.

As métricas, também denominadas por medidas ou Indicadores Chave de Desempenho (ICD) [*Key Performance Indicators (KPI)*] são uma ferramenta para avaliar o impacto de um projecto ou actividade. Normalmente são numéricas (aumentar as vendas em 20%), mas podem ser qualitativas (aumentar níveis de satisfação dos utilizadores). Em ambos os casos, elas proporcionam claras e tangíveis metas para um sistema e um critério para o seu sucesso.

² Citado por Menzies (2000).

V.1. Objectivos, Resultados e Medidas

A literatura analisada reporta vários estudos baseados em análises bibliográficas, empíricos, laboratoriais, etc. A Tabela V-1, que apresentamos de seguida, mostra-nos a relação dos objectivos do Sistema Pericial e os resultados conseguidos.

Tabela V-1 – Benefícios reportados pela bibliografia

Objectivos	Estudo	Resultados / Medidas	Referência
Ajuda na consolidação da informação.	Modelo analítico.	Medidas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga de trabalho, ▪ Oportunidade da decisão, ▪ Precisão Melhorou a precisão, requereu mais tempo e aumentou a carga de trabalho.	Perdu e Levis (1988)
Automatizar as decisões na gestão de operações e produção.	Análise Bibliográfica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumentou a confiança, ▪ Melhorou a precisão, ▪ Melhorou a oportunidade da decisão (redução do tempo) das decisões na gestão do processo, ▪ Melhorou a eficácia, ▪ Reduziu os custos. 	Byrd e Hauser (1991).
Seleccção da rota de transporte no controlo de tempo real de Sistemas de Produção Flexíveis.	Empírico. Estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhorou níveis de produtividade, ▪ Aumentou a utilização das máquinas, ▪ Reduziu os custos, ▪ Melhorou qualidade do treino. 	Kodali (1992).
1. Configurar computadores (XCON). 2. Tomar decisões de crédito (American Express). 3. Ajudar nos investimentos (ExperTAX).	Análise Bibliográfica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumentou Precisão e Confiança. Reduziu custos e produziu melhor serviço. ▪ Oportunidade (redução de tempo). Conhecimento disponível a toda a organização. ▪ Uso produtivo dos especialistas. ▪ Documentação do conhecimento. 1. Taxa de configurações correctas. 2. Decisões e Tempo da decisão.	Hauser e Herbert (1992).

Objectivos	Estudo	Resultados / Medidas	Referência
Utilização e valor dos SP no geral.	Questionário. Responsáveis informáticos de 500 organizações.	Benefícios reportados pelos inquiridos (ordenados em ordem decrescente pelo mais citado): <ul style="list-style-type: none"> Manter a consistência na tomada de decisão, Aumentar a produtividade do utilizador, Treinar os empregados menos experientes, Libertar os peritos de tarefas rotineiras, Ganhar controlo sobre situações complicadas, Facilitar a operação de sistemas complexos, Distribuir a perícia, Melhorar o serviço ao consumidor, Aumentar a qualidade dos produtos e serviços, Proporcionar vantagens estratégicas, Gerar um retorno substancial, Melhor entendimento da tomada de decisão, Aumentar a imagem organizacional, Reduzir custos. 	Tsai, Necco e Wei (1994).
Deteção de falhas e diagnóstico.	Empírico. Estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> Satisfação dos operadores, Operação do processo mais homogénea, Aumento da vida útil das máquinas, Operador é induzido a conduzir o processo tomando mais cuidado com alguns aspectos predefinidos. 	González, Acosta e Prada (1998).
Redução das despesas administrativas, retenção e satisfação dos colaboradores e melhoramento da qualidade e consistência das decisões.	Empírico. Estudo de caso (seguradora). Suporte a decisões clínicas.	Medidas: <ul style="list-style-type: none"> Eficiência (rácio de horas gastas com e sem sistema), Eficácia (rácio de sucessos), Produtividade (impacto da eficácia e da eficiência), Qualidade (conformidade com as especificações), Qualidade de vida do trabalhador (satisfação, stress ameaças percebidas), Inovação (formas criativas de adaptação), Rentabilidade (rácios financeiros, projectados e conseguidos). 	Motiwalla e Fairfield-Sonn (1998)
Controlar o desempenho global do processo. SP de supervisão e controlo.	Empírico (Estudo de um caso, com a implementação de um sistema piloto – 600 dias)	Detectou e controlou: <ul style="list-style-type: none"> Falhas nas bombas, Problemas de alimentação, Mau funcionamento dos sensores, Manutenção do equipamento, Controlo dos analisadores. 	Baeza, Gabrile e Lafuente (1999)

Objectivos	Estudo	Resultados / Medidas	Referência
Ajudar os gestores, sem conhecimentos específicos nos conceitos de controlo interno, a detectarem potenciais não conformidades. Diagnóstico.	Experiência laboratorial.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumentou o desempenho dos utilizadores, ▪ Melhorou eficácia e eficiência, ▪ Aumentou a satisfação dos utilizadores. ▪ Redução do trabalho e tempo. <p>Precisão → Eficácia; Tempo de decisão → Eficiência; Percepção dos participantes: - Menor esforço na tarefa, - Satisfação com a precisão, - Satisfação com a rapidez, - Tarefa mais interessante.</p>	Changchit, Holsapple e Maden (1999).
Previsão da variação climática. Diagnóstico das causas do clima.	Empírico. Estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilita acesso a informação relevante, ▪ Explicações sobre a solução, ▪ Proporciona diagnóstico sobre a dinâmica do clima a um menor custo do que os modelos numéricos. 	Rodionov e Martin (1999).
Controlo e supervisão em tempo real.	Empírico. Estudo de caso, com simulação.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução dos “overshots”, oscilação das variáveis controladas e flutuações do sinal de controlo. 	Leung e Romagnoli (2000).
Optimização das operações (nas condutas de gás natural). Suporte à decisão dos operadores.	Empírico. Estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimiza as operações, ▪ Assegura o fornecimento de gás ao mínimo custo, ▪ Evita o desenvolvimento de situações críticas nas condutas, ▪ Utilizado como suporte pelos utilizadores inexperientes, ▪ O controlo regular através do SP liberta os operadores experientes para outras tarefas complexas, ▪ Aumenta a confiança no sistema, reduzindo os arranques e paragens desnecessários das máquinas, ▪ As explicações dadas pelo SP ajudam os operadores a uma melhor visualização das condições de operação do sistema. 	Uraikul (2000).
Melhorar o desempenho com sistemas de baixo custo.	Observação de casos práticos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução do tempo improdutivo, ▪ Melhoria do serviço ao consumidor (imparcial e inconsistente), ▪ “Cópia” dos peritos em caso de ausência, ▪ Redução do tempo a preparar novos colaboradores, ▪ Redução das tarefas rotineiras dos peritos, ▪ Decisões consistentes (baseadas nas políticas/procedimentos da organização). 	Mattei (2001).

Objectivos	Estudo	Resultados / Medidas	Referência
Pilotagem de navios: Gerar alertas/avisos, Formular recomendações para plano de viagem e acções a seguir. Monitorização em Tempo Real.	Empírico. Estudo de caso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhorou o desempenho dos decisores, em situações de baixo stress. ▪ Aumentou a confiança e satisfação, em situações de baixo stress. <p>Medidas orientadas à tecnologia, ao humano e à organização. Precisão; Tempo de resposta; Taxa de erros; Carga de trabalho; Eficácia; Eficiência; Satisfação do utilizador.</p>	Grabowski e Sanborn (2001).
Proporcionar conhecimento, experiência e perícia. Treino e suporte à decisão.	Experiência laboratorial. Medição da satisfação através de inquérito.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhorou o desempenho dos utilizadores, ▪ Aumentou a capacidade de análise, ▪ Aumentou a satisfação dos utilizadores. <p>O desempenho da tomada de decisão dos participantes foi determinado pela proximidade das soluções com a solução correcta.</p>	Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga (2002).
Planeamento e escalonamento de produção.	Análise bibliográfica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhor serviço ao consumidor, ▪ Redução do tempo para completar as tarefas, ▪ Aprendizagem organizacional, ▪ Aumento da produção, ▪ Utilização mais eficiente dos recursos, ▪ Redução de pessoal, ▪ Redução de custos (não precisa de tantos peritos), ▪ Qualidade dos produtos, ▪ Precisão nas decisões, ▪ Ganho de tempo. 	Metaxiotis, Askounis e Psarras (2002a).

V.2. Abordagens e Parâmetros

A usabilidade, centrada na utilização do sistema, pode ser avaliada através do tempo para completar a tarefa, número de tarefas completadas num dado tempo, rácio das interacções de sucesso e erros, tempo de recuperação após erros, número de erros de utilização, número de vezes que o utilizador expressa clara frustração durante o teste, número de vezes que o interface desliga o utilizador, proporção de utilizadores que dizem preferir o sistema a outros, etc. Estas medidas podem ser quantificadas através de

medições directas, entrevistas ou questionários. Os parâmetros da medida de usabilidade caem dentro de duas categorias: medidas de desempenho objectivas, as quais medem a capacidade dos utilizadores para utilizarem o sistema, e medidas subjectivas da preferência dos utilizadores, avaliando quanto os utilizadores gostam do sistema. (Park e Lim, 1999).

A satisfação do utilizador, pode ser apontada como uma medida do sucesso dos sistemas e da sua eficácia, encorajando a utilização do sistema, melhorando o desempenho individual, satisfação com a qualidade e resultados conduzindo a melhorias no desempenho (Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga, 2002).

Rantanen e Nunes (2003) apontam como medidas do desempenho do sistema: Segurança, Eficiência e Economia.

Uma revisão da literatura sobre Sistemas Periciais detectou que factores de tempo, financeiros e qualidade são critérios fundamentais para análise de conceitos, tais como, desempenho e eficácia do sistema e sucesso dos Sistemas Periciais (Clark e Soliman, 1996). Factores de Tempo e financeiro são tangíveis, enquanto qualidade é intangível.

Estudos anteriores, como referem Yoon, Guimarães e O'Neal (1995), utilizaram várias medidas de sucesso dos sistemas: Satisfação do utilizador; Nível de utilização do sistema; Benefícios percebidos do sistema; Aumento da qualidade da decisão e Rentabilidade do negócio. A escolha da melhor medida para o sucesso do sistema

depende do objectivo do estudo. A satisfação do utilizador foi proposta como uma medida substituta para a eficácia do sistema.

Grabowski e Sanborn (2001) referem que as avaliações input-output tipicamente utilizam resultados de desempenho, tais como: Eficácia da decisão; Eficiência da decisão; Satisfação do utilizador e Confiança dos resultados. Referindo, em 2003, que a interacção homem-máquina tem implicações importantes. Esta interacção pode aumentar ou diminuir a eficiência do sistema, melhorar ou comprometer a segurança e aumentar ou negar os outros benefícios da tecnologia.

V.3. Influências no Desempenho

Como aponta Grabowski e Sanborn (2001), citando Mitchell e Sundstrom (1997), os sistemas algumas vezes falham pelo operador, outras pelo sistema, pois os humanos e a tecnologia são responsáveis, em conjunto, por executarem tarefas. Assim, as medidas de avaliação terão de ser ao nível técnico e organizacional. O critério de avaliação relativo aos humanos deve ser retirado do contexto onde o sistema vai operar.

Um Sistema Pericial pode cumprir totalmente uma função que normalmente requer peritos humanos ou pode desempenhar o papel de um assistente para um decisor. Por outras palavras, o cliente pode interagir directamente com o sistema, ou interagir com um humano o qual interage com o sistema. (Jackson, 1999).

Os resultados de um estudo de Mauldin (2003) evidenciaram, interdependência entre organização, sistema e factores individuais na determinação do desempenho da tarefa e

sugere que o desempenho organizacional pode ser melhorado através da implementação conjunta de Sistemas Periciais e incentivos.

Nos sistemas tempo real, normalmente a responsabilidade de actuação é dividida pelo Sistema Pericial e operador, pois actuam em conjunto. Assim, medidas de avaliação técnica e humana são importantes. A literatura mostra alguns exemplos de critérios de avaliação de sistemas tempo real, quer orientados à tecnologia quer orientados aos humanos. Os critérios orientados à tecnologia focam, normalmente, a Validação (avalia o valor dos sistemas), a Verificação (avalia se o sistema e os seus outputs cumprem as especificações) e a Avaliação do Desempenho do Sistema. A abordagem orientada ao humano foca o desempenho do operador com e sem sistema/tecnologia.

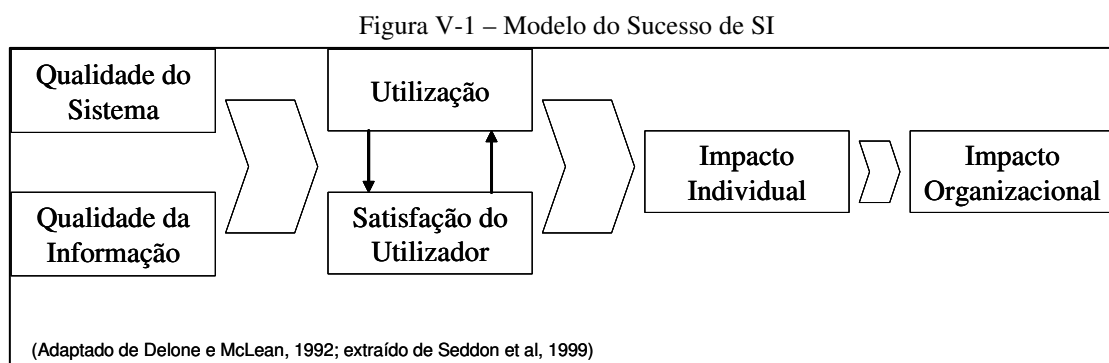
A avaliação de sistemas embebidos foca frequentemente a tolerância à falha, confiança, previsibilidade, transparência e viabilidade. A avaliação ao nível da tarefa foca-se na exactidão dos conselhos ou conclusões. As avaliações input-output utilizam tipicamente os resultados de desempenho tais como, eficácia e eficiência da decisão, satisfação do utilizador e a confiança nos resultados. Métricas de desempenho ao nível da representação, adequação dos sistemas para eficientemente representar e propagar a informação, habilidade para rever as conclusões, tipicamente incluem número e tipos de erros de representação cometidos pelo sistema.

Desempenho individual tem sido analisado pela comunidade de investigadores de sistemas de informação e existe um consenso que as tecnologias de informação têm um impacto directo. A assunção geral é que o aumento da utilização dos sistemas de informação conduz a melhoramentos no desempenho (Cascante, Plaisent, Bernard e

Maguiraga, 2002). Para se atingir impactos positivos no desempenho, através dos sistemas de informação, é necessário existir um bom ajuste entre o sistema e as actividades que ele suporta (Cascante, Plaisent, Bernard e Maguiraga, 2002, citando Goodhue e Thompson, 1995).

Borovits and Neumann (1979), citado por (Myers, Kapellman e Prybutok, 1997), descrevem vários índices de desempenho: capacidade, tempo de resposta, taxa de processamento, medidas de confiança, medidas de utilização do sistema e disponibilidade. Estes índices devem ser alinhadas com a estratégia da organização e fáceis de implementar e medir. Satisfação do utilizador é uma medida da eficácia do sistema.

DeLone e McLean (1992), citado em Seddon, Staples, Patnayakuni e Bowtell (1999), através de uma análise de 100 artigos contendo medidas empíricas de sucesso dos sistemas de informação, classificou as medidas em 6 categorias: Qualidade do sistema, Qualidade da informação, Utilização, Satisfação do utilizador, Impacto individual e Impacto organizacional. Relacionadas como mostrado na figura seguinte (Figura V-1).



(Seddon et al, 1999)

Os investigadores devem sistematicamente combinar medidas das 6 categorias de sucesso dos sistemas de informação.

O modelo, de DeLone e McLean , é a estrutura mais aceite e utilizada para avaliar os investimentos de sistemas de informação. Sugere que os dados sobre os sistemas de informação devem ser recolhidos das 6 categorias. Qualidade do Sistema, descreve quão bom o sistema é em termos das suas características operacionais; Qualidade da Informação, define quão bom o sistema é em termos dos seus outputs (importância, relevância, utilidade, conteúdo, exactidão e integralidade); Utilização da informação refere-se à utilização dos outputs do sistema; Satisfação do Utilizador, mede a percepção do sistema por parte do utilizador; o Impacto Individual, é o impacto que o sistema produz no indivíduo, podendo ser uma indicação do entendimento da informação produzida pelo sistema; Impacto Organizacional, é tipicamente a soma dos impactos individuais.

Face ao exposto, neste capítulo e no capítulo anterior, “Avaliação de Desempenho”, podemos concluir que:

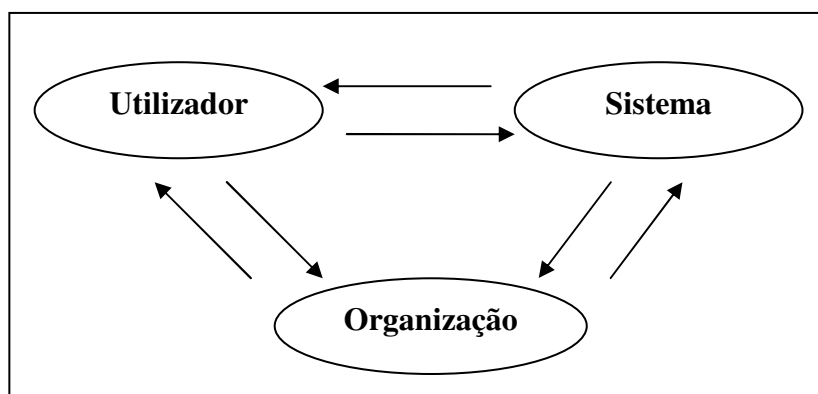
- A avaliação de desempenho dos Sistemas Periciais apresenta dificuldades de vária ordem, quer no desenvolvimento de métricas standard, quer na sua aplicação, pois as actividades efectuadas por estes sistemas são variadas. A escolha dos factores de avaliação devem recair nos que são realmente importantes, as métricas terão de ser definidas de acordo com o contexto, devem ser fundamentais para o negócio e, como tal, devem partir dos utilizadores ligados ao negócio e não do sistema.

- Os indicadores terão de estar alinhados com a estratégia da organização, com o negócio. O primeiro passo, e questão importante no processo de avaliação, é determinar quais os objectivos mínimos para que o sistema seja considerado um sucesso para a organização.
- O desempenho da organização, afinal a meta de qualquer sistema é melhorar o desempenho da organização, é influenciado quer pelo sistema quer pelo utilizador. Qualquer metodologia terá de ter em conta esta interdependência de influências e benefícios.

V.4. Critério e Parâmetros Propostos

Pelo exposto, pensamos que o critério a seguir deve ter por base os Indicadores Chave de Desempenho, especificados pelos gestores e não pelos informáticos, e as interdependências de benefícios e influências composto pelo Sistema, Utilizador e a Organização (Figura V-2).

Figura V-2 – Modelo de Influências



Nos Sistemas Periciais chamados de “**Consultores**”, o desempenho terá de ser analisado numa óptica de influências/benefícios entre os três elementos: Utilizador,

Sistema e Organização. A abordagem terá de ser efectuada considerando os critérios de avaliação orientados para o sistema e utilizador, devido à importância dos dois, como afirma Grabowski e Sanborn (2001).

Um sistema deste tipo, e para referir um como exemplo, poderá ser um sistema para efectuar contratos com seguradoras. O sistema através do seu conhecimento, e com base na informação introduzida pelo Mediador, decide o perfil da apólice e o valor a pagar.

No entanto, apesar da correcção da informação dada pelo sistema, o Cliente pode ser influenciado pelo Operador, atendendo à forma de exposição. Nestes sistemas existe interdependência de benefícios e influências entre os três elementos que terão de ser levados em conta na avaliação, pois, o interesse na avaliação é se a organização beneficiou com a implementação do sistema e se os objectivos foram atingidos.

Nos sistemas chamados “**Decisores**”, onde não existe um intermediário, entre o Sistema Pericial e o Cliente, que poderá ser outro sistema, o desempenho terá de ser analisado numa óptica de influências e benefícios entre os dois elementos: Sistema e Organização.

Um sistema deste tipo, poderá ser um Sistema Pericial de suporte à decisão dos compradores via Internet. Não existe um colaborador da empresa como intermediário, logo o desempenho do sistema influencia directamente o desempenho da empresa e vice-versa, pois, se a empresa não tiver um bom suporte de logística, isso influenciará o comprador e indirectamente o sistema.

Assim, a avaliação de desempenho deverá analisar as medidas que influenciam as partes envolvidas. A metodologia e as métricas dependem das características do sistema e do objectivo da avaliação. Apontaremos, para cada par de influências os parâmetros que devem ser avaliados.

Sistema ⇔ Utilizador

O sistema, como suporte à tomada de decisão, pode proporcionar ao utilizador:

- Eficiência (redução do tempo da tarefa, carga de trabalho),
- Eficácia (precisão da decisão, sucessos),
- Satisfação (reduz carga de trabalho, treino, reduz tempo de decisão, diminui a taxa de erros, melhores decisões, qualidade de vida no trabalho, por ex., devido ao menor tempo dispendido em tarefas rotineiras).

Como realçaram Hogbin e Thomas (1994), os inquéritos sobre o nível de satisfação dos utilizadores proporcionam informação importante mas não medem o valor dos sistemas de informação na organização.

Os utilizadores, devido às suas diferenças de personalidade e papel na organização poderão ter interesses e perspectivas diferentes.

Sistema ⇔ Organização

O sistema pode proporcionar os seguintes benefícios à organização:

- Produtividade (mais produtos e serviços, valor de vendas por recurso),

- Qualidade (melhores produtos e serviços, operação do processo mais homogénea),
- Rentabilidade (redução de custos, aumento da produção, redução de pessoal, taxa de erros),
- Utilização produtiva dos especialistas (ao disseminar conhecimento deixa os especialistas libertos para outras actividades),
- Oportunidade na tomada de decisão (com a disseminação do conhecimento),
- Eficiência (tempo para completar tarefas, esforço, tarefas por tempo, tempo de treino, redução do tempo improdutivo),
- Eficácia (tarefas completadas com sucesso, erros dos utilizadores, melhor serviço, precisão e homogeneidade das decisões).

A organização pode influenciar o desempenho do sistema em vários aspectos, nomeadamente, na qualidade do conhecimento, na falta de manutenção, etc.

Utilizador ⇔ Organização

O utilizador, suportado pelo sistema, contribui para o desempenho global da organização, nos mesmos parâmetros que o sistema que age independente, mas este contributo é influenciado pelo perfil do utilizador.

A metodologia para avaliação do desempenho, deverá ter por base os objectivos da organização e como poderão ser atingidos pelo sistema:

Objectivos Organizacionais → Objectivos do Sistema Pericial → Métricas de Desempenho

Para a avaliação de Sistemas Periciais devemos prosseguir pelas seguintes fases:

1. Identificar os objectivos
 - Os objectivos podem ser identificados através de entrevistas com os gestores da organização em estudo. Sendo possível o recurso a técnicas de *brainstorming* na eventualidade dos gestores não terem a facilidade de os identificarem consistentemente.
2. Ordená-los por prioridade
 - A ordenação dos objectivos de acordo com a sua prioridade pode beneficiar de técnicas de decisão multi-critério (*MCDM – Multiple Criteria Decision Making*) e de técnicas Delphi. As técnicas MCDM recomendam-se quando o(s) gestor(es) tenham necessidade de decompor a relevância dos vários aspectos dos objectivos. As Delphi devem ser utilizadas quando os vários gestores necessitem de ajuda para que as suas valorizações de objectivos converjam.
3. Escolher os mais relevantes ou críticos
 - Considerando os resultados da fase anterior serão determinados os objectivos a analisar. A avaliação de sistemas poderá ser demorada e dispendiosa, pelo que, é necessário proceder a uma análise, que poderá ser, uma análise custo benefício, para determinar quais dos objectivos considerados relevantes serão avaliados.
4. Elaborar métricas/indicadores, por cada objectivo,
 - Tendo em vista os objectivos identificados na fase anterior, e considerando as métricas referidas na Tabela V-1, serão seleccionadas e ajustadas as métricas adequadas. A escolha da melhor medida para o sucesso do sistema depende

do objectivo e tipo de sistema. Nos sistemas que designamos por “Consultores” devemos elaborar as métricas numa óptica das influências/benefícios dos três elementos: Utilizador, Sistema e Organização.

5. Identificar a informação necessária,

- Através da análise das métricas seleccionadas na fase anterior inventariam-se as variáveis a recolher e as condições de recolha. A recolha desta informação poderá ser com recurso aos dados históricos, caso existam, medição directa, através de questionários ou entrevistas, dependendo do tipo de estudo a efectuar.

6. Efectuar testes.

- Proceder à recolha da informação necessária para aferir o valor das métricas, avaliar o mérito e valor do sistema. A recolha desta informação, e baseado no objectivo do estudo em questão, poderá ser efectuada através de técnicas de simulação, experimentação laboratorial, implementação de um sistema piloto, etc.

7. Analisar

- Extrair as conclusões adequadas considerando os valores das métricas obtidas em referência a cada um dos objectivos seleccionados.

Capítulo VI - Estudo de Caso

“A maneira mais imediata de prever o futuro consiste em olhar para o passado e extrapolar a partir dele.”

(Fiolhais, 2003, p. 141)

A primeira parte do trabalho consistiu na identificação da metodologia e métricas que podem ser utilizadas para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais. Nesta segunda parte, e para avaliar a relevância, a metodologia e métricas propostas serão aplicadas a um caso prático, em que se identifica que um Sistema Pericial de baixo custo pode proporcionar benefícios significativos.

O sistema a ser estudado, para esta avaliação, é uma rede pública de abastecimento de água. A gestão e controlo destes sistemas são complexos, atendendo aos seguintes factores: geográficos, dispersão das fontes, estações de bombagem e reservatórios; de exploração, o armazenamento não é suficiente para garantir o abastecimento em períodos de tarifa eléctrica elevada.

Começaremos por descrever o sistema de abastecimento, o problema que nos propomos analisar e os indicadores relevantes, apontados pela Organização, para que o Sistema Pericial a implementar contribua para atingir os objectivos traçados e seja considerado um sucesso.

Apresentaremos o modelo de investigação efectuado, começando por apresentar as hipóteses de investigação, o protótipo concebido, os testes efectuados e uma análise preliminar dos resultados.

VI.1. Sistema de Abastecimento

Numa rede de Abastecimento de Água, como citado em alguns relatórios e pelo responsável do SMAS em análise, um dos aspectos técnicos mais importantes é o seu controlo. É um problema complexo, tendo em conta a normal dispersão das fontes de captação, dos reservatórios e das estações de tratamento. Do controlo, dependem também, a qualidade e a fiabilidade do serviço prestado.

Figura VI-1 – Mapa do Sistema de Abastecimento



Outro dos aspectos importantes, em termos de exploração e de gestão, é a minimização dos factores de custo de produção. Numa Rede de Água, o consumo energético de bombagem tem, neste aspecto, um papel principal. Segundo Pemberton (2003), as bombas consomem, dependendo da indústria, entre 25% a 60% da energia eléctrica. A minimização deste factor constitui, também, um problema delicado, dado que o

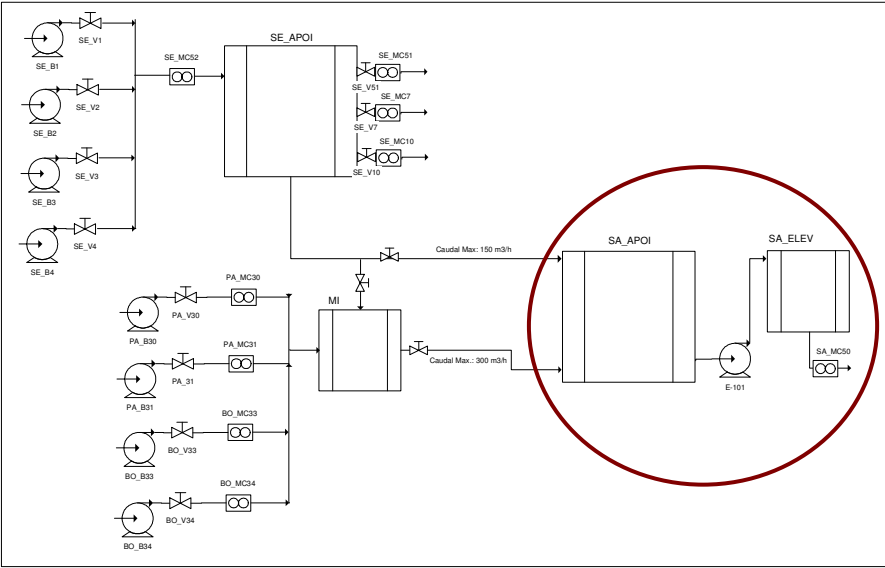
abastecimento público nunca pode ser posto em causa, os custos específicos diferem de instalação para instalação, as horas em que o tarifário de energia eléctrica é mais elevado coincidem com as horas de maior consumo de água. O tarifário de energia eléctrica comporta 3 escalões e os reservatórios de armazenamento, pelo seu investimento, não são normalmente suficientes para garantir o consumo nestes períodos.

A gestão do fornecimento de água a uma cidade é uma tarefa complexa. A responsabilidade da gestão é dos operadores do sistema. Apesar de algumas tarefas serem automáticas, os operadores tomam a maior parte das decisões empregando a sua intuição e experiência para decidir qual a acção adequada em cada momento.

A rede de abastecimento estudada insere-se numa região piscatória e de elevado turismo. É composta por várias estações de captação, uma barragem, uma estação de tratamento, estações de bombagem e reservatórios. Abastece cerca de 19000 consumidores, dispersos por uma área de cerca de 77 km².

O tratamento de toda a rede seria uma tarefa bastante árdua e pensamos não ser de todo necessário, no âmbito deste trabalho, para demonstrar o que pretendemos. A rede que tratamos é composta por dois grupos de bombagem, um reservatório de apoio e um elevado (assinalada no interior do círculo da Figura VI-2).

Figura VI-2 – Esquema do Sistema de Abastecimento



O reservatório apoiado recebe a água de captações e de outro reservatório de apoio. O nosso estudo foca-se na optimização da bombagem do apoiado para o elevado, pois, é este o último reservatório entre o sistema de produção e a população. É neste reservatório que teremos de manter os limites de segurança para que não falte o abastecimento.

Capacidade e volumes dos reservatórios:

Tabela VI-1 – Capacidade dos reservatórios

Reservatórios	Capacidade (m³)	Volume Segurança (m³)
Apoiado	2000	500
Elevado	500	200

Capacidade de bombagem da estação elevatória:

Tabela VI-2 – Capacidade de bombagem

Modo de Funcionamento	Caudal (m³/h)	Potência do Grupo (kW)
1	150	22
2	300	44

O desenvolvimento e implementação deste Sistema Pericial pressupõem o ter já sido dado um outro passo, a automatização do sistema, com controlo e comando possível por via remota e a existência de dados históricos mínimos. O sistema tem implementado um SCADA (*Supervision Control and Data Acquisition*) e ao nível local existem PLCs (*Programmable Logic Controller*) que garantem um primeiro nível de controlo.

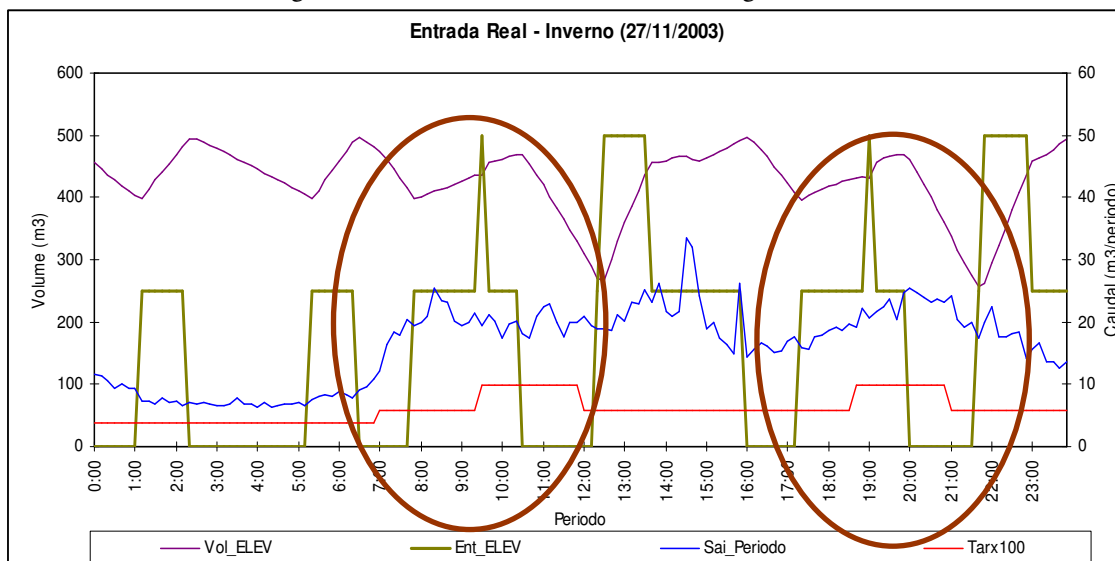
Apesar do SCADA poder efectuar algumas tarefas, como observar tendências e detectar se o processo está a desviar-se da trajectória, isto não é a totalidade da capacidade para analisar ou integrar dados. O Sistema Pericial fornece a inteligência necessária para interpretar a tendência e decidir as acções a tomar.

VI.2. Problema

O problema, a ser equacionado, da minimização dos custos energéticos, comporta três aspectos essenciais:

- O abastecimento nunca pode ser posto em causa,
- Os períodos de maior consumo coincidem com os de tarifa mais elevada,
- A capacidade de armazenamento do reservatório não é suficiente para os períodos de tarifa mais elevada.

Figura VI-3 – Gráfico do Período de Bombagem Actual



Como se pode verificar, Figura VI-3, existem dois pontos críticos de bombagem:

- No primeiro, as bombas trabalham no período de tarifa Alta, quando, possivelmente poderiam estar paradas, se o reservatório estivesse no início do período na sua máxima capacidade e, possivelmente, o volume no depósito chegaria até ao fim do período,
- No segundo, idêntico ao primeiro, mas com a diferença que as bombas trabalham no período Médio quando, possivelmente, poderiam trabalhar no período Baixo seguinte.

VI.3. Indicadores Chave de Desempenho

O Gestor da Organização aponta, a redução dos custos operacionais, como objectivo principal, e a melhoria da qualidade do serviço, como objectivo a médio prazo.

Os parâmetros que influenciam estes objectivos são:

- Redução do consumo energético, reduzindo assim os custos, tornando o sistema mais eficiente.

- Melhoria da qualidade através de:
 - Manutenção da pressão constante ao longo do dia,
 - Diminuição do tempo de paragem não programada,
 - Detectando fugas, através dos desequilíbrios de fluxo nas condutas,
 - Detectando a degradação dos equipamentos.
- Redução das perdas
 - Alertando para possíveis roturas nas condutas.

Face aos objectivos, e aos parâmetros que os influenciam, o sistema deverá:

- Minimizar a entrada no sistema, em períodos de tarifa Alta/Média, sem nunca pôr em causa o abastecimento,
- Manter o volume do reservatório dentro de certos valores que garantam um diferencial mínimo de pressão a um custo aceitável,
- Detectar anomalias e programar a manutenção do equipamento,
- Alertar para possíveis roturas nas condutas.

Na avaliação do impacto do sistema os Indicadores Chave de Desempenho serão:

- Custos energéticos do sistema face aos custos sem sistema,
- Pressão e custos, com sistema e sem sistema,
- Anomalias detectadas e verificadas,
- Alertas de roturas e roturas verificadas.

VI.4. Hipóteses de Investigação

Os dois últimos indicadores, referidos anteriormente, “Anomalias” e “Alertas”, careciam de uma avaliação a médio/longo prazo, ou a recolha de dados sobre o histórico de cada equipamento e roturas existentes. Esta recolha não foi possível, como tal, a nossa avaliação será somente efectuada sobre o primeiro e segundo indicador, “Custos energéticos” e “Pressão e custos”.

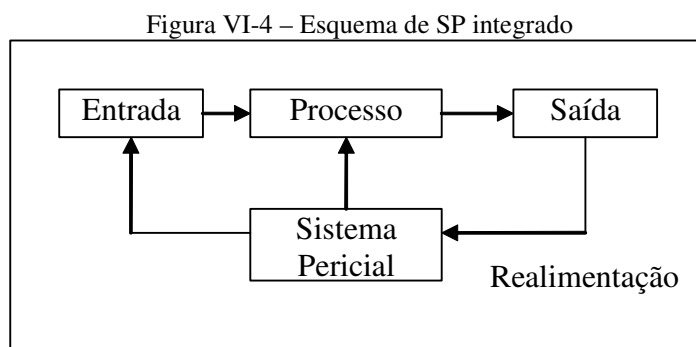
As hipóteses de investigação são:

- H1. A implementação de um Sistema Pericial pode reduzir os custos energéticos, melhorando assim a eficiência do sistema global.
- H2. Podemos melhorar a qualidade do serviço, mantendo uma pressão constante na rede, sem comprometer os custos energéticos.

VI.5. Protótipo do Sistema Pericial

Como um dos objectivos é a verificação da possibilidade de criação de aplicações de baixo custo que proporcionem vantagem competitiva, e como os dados estavam numa base de dados *Microsoft Access*, optamos desenvolver um Sistema Pericial dentro do próprio *Access*, com recurso ao *Visual Basic for Applications (VBA)*. Assim, temos a Base de Conhecimento numa tabela, o Motor de Inferência num módulo em VBA, as Explicações em tabelas e o Interface em “forms”.

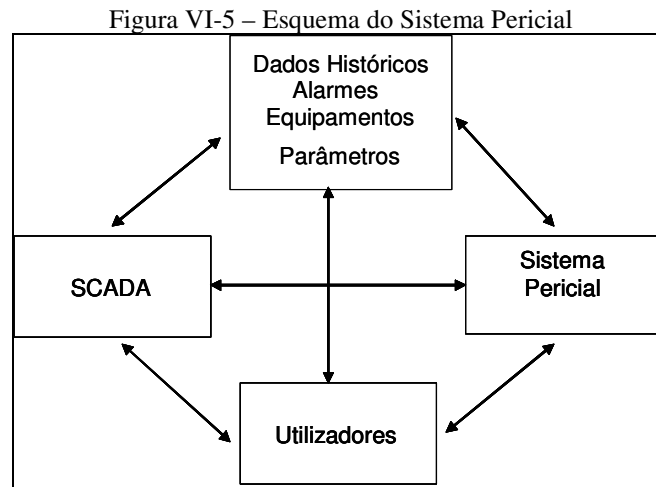
O Sistema Pericial implementado, e como referido anteriormente, foi um sistema integrado do tipo “Decisor”, que interagirá com o sistema de supervisão e controlo existente.



O controlo de processos tem a seguinte sequência: Medir, Avaliar e Controlar. A fase de Medir e Controlar é efectuada pelo SCADA e a fase Avaliar é efectuada pelo Sistema Pericial. O Sistema Pericial com base nas medidas das variáveis a controlar efectua a avaliação, compara a medida e determina a acção – *Se Volume Baixo Então Liga Bomba*. A acção é fornecida ao sistema de controlo que a comunica aos actuadores locais (bombas e válvulas). O Sistema Pericial, também, tem a capacidade de explicar *Como* determinou as acções.

No caso, não foi necessário utilizar raciocínio progressivo, pois, o período de amostragem (10 min.) era suficiente para o sistema tomar a decisão.

Esquema do Sistema Pericial implementado.



Com base na informação do especialista que opera o sistema, o procedimento seguido na análise, no essencial, é efectuado da seguinte forma:

1. Recolhe dados de consumo e armazenamento,
2. Prevê consumo no período e nos períodos de custo energético mais elevado,
3. Compara valores de armazenamento com a previsão,
4. Se armazenamento é suficiente para o período não liga as bombas,
5. Se armazenamento não é suficiente, analisa qual a melhor forma de armazenar:
 - a. Quais as bombas a ligar,
 - b. Tempo de funcionamento.

O Sistema Pericial deverá efectuar as actividades 3 a 5, uma vez que a actividade 1 é efectuada pelo SCADA e a previsão será efectuada por um modelo matemático.

O Sistema Pericial contém o conhecimento necessário para a operação do sistema de abastecimento. As regras combinam conhecimento procedimental dos peritos e métodos

matemáticos. O objectivo das regras é o de manter o volume nos reservatórios dentro de margens de segurança e ao mesmo tempo reduzir o custo operacional das bombas.

As regras, conhecimento, a fornecer ao Sistema Pericial tiveram como base o modelo do sistema de abastecimento utilizado e os períodos da tarifa eléctrica existentes.

As regras estão organizadas em diferentes níveis de acordo com a prioridade de aplicação:

1. Segurança no fornecimento (ao reservatório para não exceder os limites de segurança),
2. Optimização do custo eléctrico (regulando o período de funcionamento das bombas).

Existe ainda a possibilidade, com alteração de um parâmetro, volume mínimo, de optimizar o sistema para a qualidade, pressão nas condutas.

VI.5.1. Regras por período tarifário

O objectivo das regras relativas aos reservatórios é para usar, eficientemente, a capacidade de armazenamento do reservatório permitindo a operação das bombas quando a tarifa eléctrica é vantajosa para obter redução de custos.

Assim, as regras estão construídas para que as bombas funcionem nos períodos de tarifa eléctrica mais baixa. Os reservatórios deverão conter o volume suficiente para que não exista a necessidade de bombagem nos períodos de tarifa alta.

As regras, a partir do tempo total de bombagem, devem ser capazes de distribuí-lo ao longo do período.

Determinação do tempo total de bombagem

$$V_f = V_i + V_b(t_i, t_f) - V_c(t_i, t_f) \Leftrightarrow V_b = V_f - V_i + V_c \quad [1]$$

V_f – Volume no final do período.

V_i – Volume no início do período.

V_b – Volume bombeado no período.

V_c – Volume consumido no período.

t_i – Tempo inicial

t_f – Tempo final

$$V_b = T_b \times C_b \quad [2]$$

T_b – Tempo de bombagem (períodos)

C_b – Capacidade nominal da bomba (m³/período)

De [1] e [2]

$$T_b = (V_f - V_i + V_c) / C_b$$

Distribuição da bombagem ao longo do período

Restrições:

1. O sistema deve bombear o tempo determinado.
2. A bomba deve ser parada no final do tempo de bombagem.
3. O volume armazenado deve estar entre o V_{min} e V_{max} .

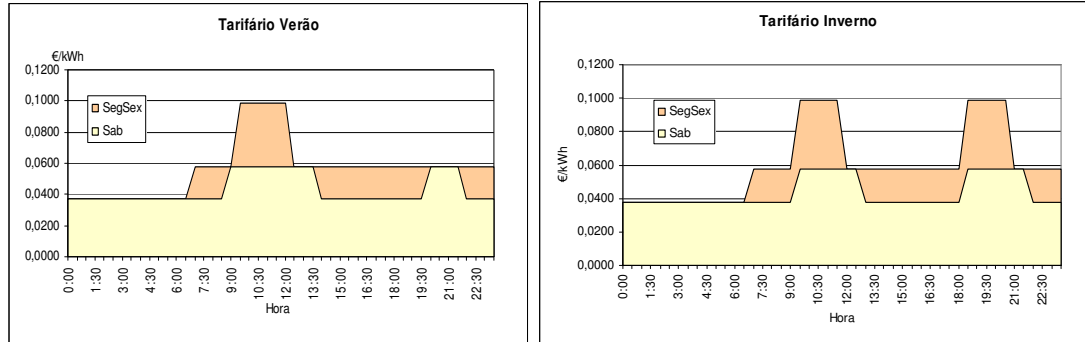
Condições:

1. A bomba deve ser parada quando volume atinge o máximo.
2. A bomba deve ser ligada quando volume atinge o mínimo.

Regras por período tarifário

Os períodos das tarifas (Alta, Média e Baixa) variam conforme a hora de Verão e a de Inverno.

Figura VI-6 – Períodos do Tarifário



Tarifa Baixa

$$V_f = V_{\max} \Rightarrow T_b = (V_{\max} - V_i + V_c) / C_b$$

Tarifa média antes da tarifa alta

$$V_f - V_c(t_f, t_f + \Delta t_A) = V_{\min}$$

$$V_f = V_c(t_f, t_f + \Delta t_A) + V_{\min} \Rightarrow T_b = [V_c(\Delta t_A) + V_{\min} - V_i + V_c(t_i, t_f)] / C_b$$

Tarifa alta

$$V_f = V_{\min} \Rightarrow T_b = (V_{\min} - V_i + V_c) / C_b$$

Tarifa média antes da tarifa baixa

$$V_f = V_{\min} \Rightarrow T_b = (V_{\min} - V_i + V_c) / C_b$$

Regras para todos os períodos

Se $V \geq V_{\max}$ *Então* DesligaBombas

Se $V \leq V_{\min}$ *Então* LigaBombas

Regras no período Tarifa baixa

Se $t = \text{TarifaBaixa}$ E Bomba1Desligada E Bomba2Desligada

E $\text{TempoArranque1} \leq t$ Então LigaBomba1

Se $t = \text{TarifaBaixa}$ E Bomba1Ligada E Bomba2Desligada

E $\text{TempoArranque2} \leq t$ Então LigaBomba2

Regras no período tarifa média antes da tarifa alta

Se $t = \text{TarifaMediaAntesAlta}$ E Bomba1Desligada E Bomba2Desligada

E $\text{TempoArranque1} \leq t$ Então LigaBomba1

Se $t = \text{TarifaMediaAntesAlta}$ E Bomba1Ligada E Bomba2Desligada

E $\text{TempoArranque2} \leq t$ Então LigaBomba2

Regras no período tarifa média antes da tarifa alta

Se $t = \text{TarifaAlta}$ E Bomba1Ligada E Bomba2Desligada

E $\text{TempoArranque1} \geq t_f$ Então DesligaBomba1

Se $t = \text{TarifaAlta}$ E Bomba1Ligada E Bomba2Ligada

E $\text{TempoArranque2} \geq t_f$ Então DesligaBomba2

VI.5.2. Algoritmo do motor de inferência

O método de inferência explicita de que forma o motor de inferência usa a base de conhecimento para raciocinar. No sistema utilizado o método foi o encadeamento

directo ou inferência ascendente, orientado pelos factos, o mais usado pelo ser humano e por isso mais vulgar nos peritos.

Estratégia de raciocínio

Os factos básicos originam o disparo de regras, as regras conduzem à obtenção de conclusões intermédias e as conclusões intermédias em conjunto com os factos básicos originam o disparo de regras. O processo continua até que se obtenham conclusões finais e não haja mais lugar à possibilidade de disparo de novas regras.

Algoritmo

```
Fi ← F1
Enquanto houver factos a considerar
  Rj ← R1
  Enquanto houver regras a considerar
    Se Fi entrar nas condições de Rj
      E
      Fi ainda não disparou Rj
    Então
      Se a Condição de Rj for Verdadeiro
        Então
          Disparar Rj
          Gerar/Adicionar Factos
          Guardar justificações
```

VI.6. Testes e Avaliação

Os testes foram efectuados através de simulação baseada em dados históricos, recorrendo a um modelo de previsão para os consumos, que descreveremos no capítulo seguinte.

Para levar a cabo os testes de avaliação do desempenho do sistema, escolhemos dois períodos de dados. Um período de Verão, em que a procura é maior, atendendo ao turismo, logo, de maior tempo de bombagem e consumo energético. Outro, o período de Inverno, que apesar de menor procura tem uma desvantagem adicional, pois, tem dois períodos diários de tarifa alta, enquanto o Verão só tem um período. Assim, escolhemos dois períodos, um de Verão de 2003 e outro de Outono/Inverno de 2003/2004. Os dados utilizados são de dias úteis, pois, a tarifa ao fim de semana é baixa ou média.

As amostras testadas são dos valores sem sistema, o processo actual, que designaremos por “Custo Real”, e o dos valores simulados com a introdução do Sistema Pericial, que designaremos por “Custo Simulado”.

O cálculo do custo diário foi efectuado com base na seguinte equação:

$$CustoDia = \sum_{k=1}^N \left[PotenciaEspecificada(kWh / m^3) \times Tarifa(\text{€} / kWh) \times VolumeBombeado(m^3) \right]_k$$

$N = \text{Períodos Diários}$

O objectivo, dos testes efectuados, é o de aferir da validade das seguintes hipóteses:

H1: *O sistema pericial proporciona uma redução do custo energético.*

H2: *O sistema pericial melhora a qualidade do serviço sem comprometer os custos energéticos.*

VI.6.1. Modelo de Previsão

Não sendo um objectivo deste trabalho elaborar um modelo de previsão, tentámos escolher um que nos desse garantias e fosse relativamente fácil de construir, implementar e não exigisse muito poder computacional.

Construção do modelo

O modelo de previsão utilizado foi construído com base na média móvel, utilizando os valores dos períodos correspondentes nos últimos 5 dias.

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N-1} Y_{t-i} \right)$$

O N foi calculado através da simulação para diferentes N e o melhor foi o que teve menor EQM (Erro Quadrático Médio).

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Este modelo foi escolhido atendendo aos seguintes factores:

- O EQM obtido foi igual ou inferior ao de outros modelos, tais como, os de regressão linear e auto-regressivos,
- Facilidade de utilização e implementação,
- Facilidade e tempo de cálculo.

Validação do modelo

Para verificar a consistência, confiabilidade, dos valores estimados ao longo do dia, utilizamos o índice de Cronbach (Tabela VI-3).

Tabela VI-3 - Análise de consistência

R E L I A B I L I T Y A N A L Y S I S - S C A L E (A L P H A)		
1.	VAR00006	ConsPerReal
2.	VAR00007	ConsPerPrev
Reliability Coefficients		
N of Cases = 15552,0		N of Items = 2
Alpha = ,9715		

A consistência ($\alpha = 0,9715$) entre os valores reais e estimados é verificada, o que nos garante confiança na estimativa.

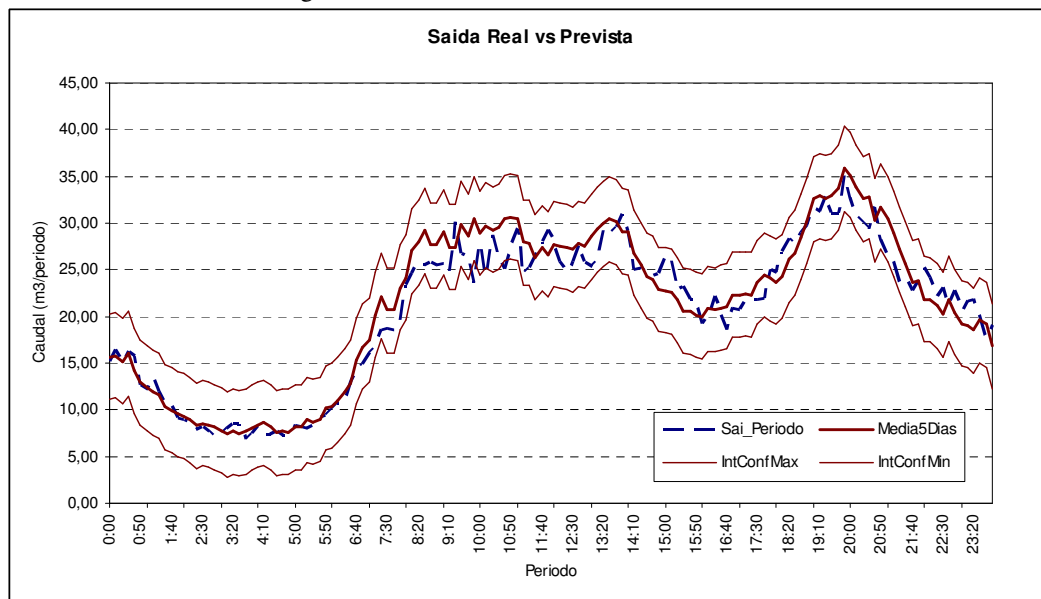
A correlação (0,945) indicia correlação forte, entre o consumo real e o previsto, confirmando os resultados anteriores.

Tabela VI-4 - Correlação entre Consumo Real e Previsto

Correlação entre Consumo Real e Previsto		
	ConsumoReal	ConsumoPrevisto
ConsumoReal	1	
ConsumoPrevisto	0,94506638	1

Apresentamos de seguida um gráfico (Figura VI-7), meramente como exemplo, de um dia de consumo. As curvas referem-se ao consumo real, ao previsto e aos intervalos de confiança a 95% ($IC95\% = MédiaDoPeriodo \pm 1,96 \times \sqrt{EQM}$).

Figura VI-7 – Gráfico da Previsão de Consumo



VI.6.2. Resultados e Análise

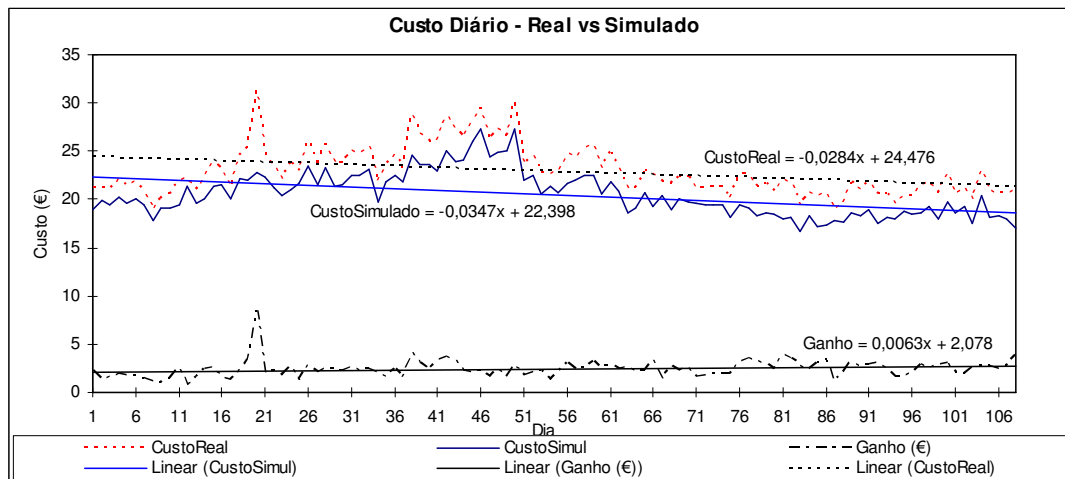
Apresentaremos neste capítulo os resultados e uma análise preliminar dos testes.

Na primeira parte, apresentamos os resultados referentes à simulação com o objectivo de redução de custos. Na segunda, os resultados da simulação com o objectivo da qualidade (pressão constante).

Simulação tendo como objectivo a redução de custos

O gráfico (Figura VI-8) apresenta os valores do custo diário, real e simulado, para os 108 dias simulados.

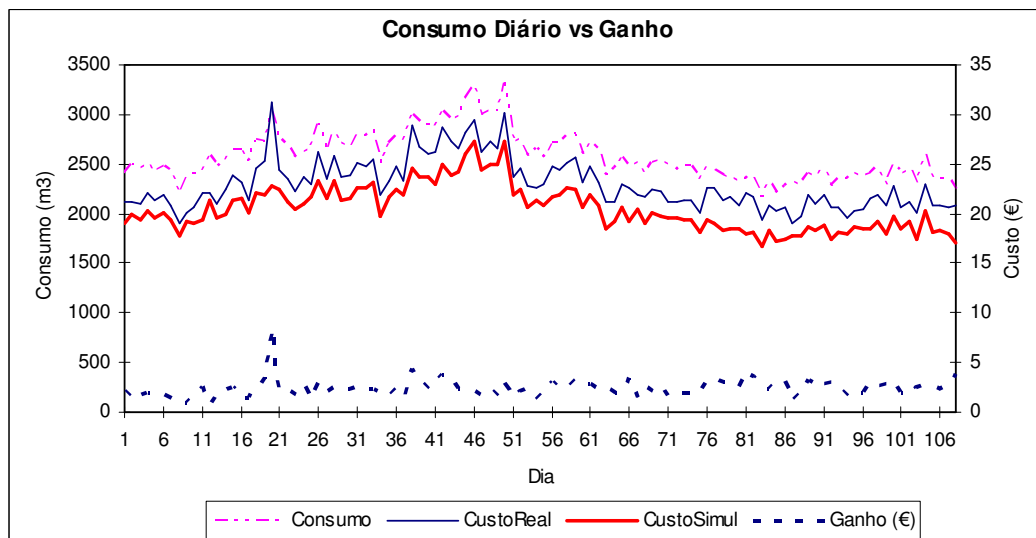
Figura VI-8 – Custo Diário Real vs Simulado



A observação do gráfico (Figura VI-9) indicia que o Custo Real, custo sem Sistema Pericial, é superior ao Custo Simulado, custo com sistema. Indício que confirmaremos à frente com os testes estatísticos.

O gráfico seguinte (Figura VI-9) apresenta os valores do Consumo, Custos e o que designamos por Ganho, que é a diferença entre o Custo Real e Custo Simulado.

Figura VI-9 – Consumo vs Ganho



No sentido de avaliarmos se existia alguma relação entre o Ganho e o Consumo, efectuamos um teste de correlação (Figura VI-10).

Figura VI-10 – Correlação entre Consumo e Ganho

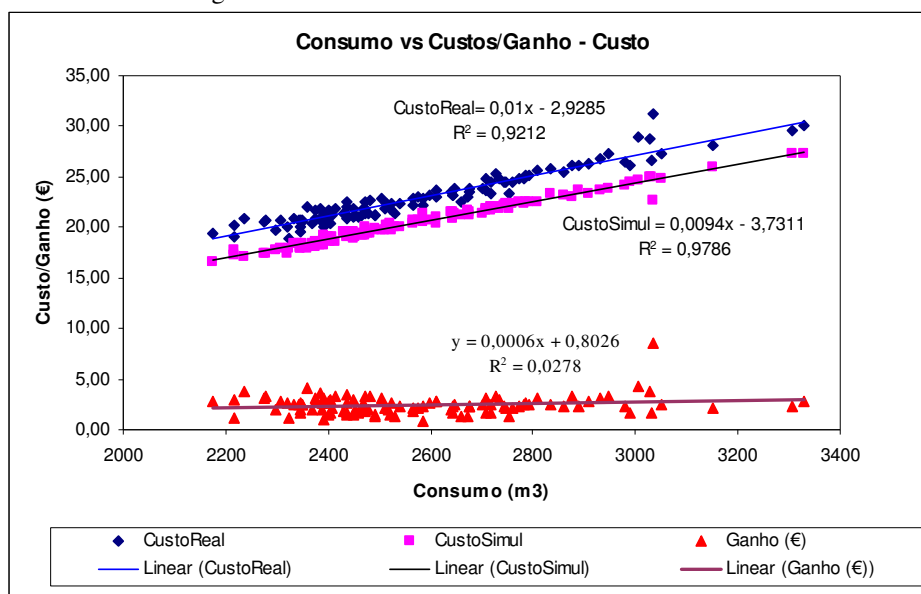
		Correlations				
		Consumo	CustoReal	CustoSimulado	Ganho€	Ganho%
Consumo	Pearson Correlation	1,000	,960(**)	,989(**)	,167(*)	-,157
	Sig. (1-tailed)		,000	,000	,042	,052
	N	108	108	108	108	108
CustoReal	Pearson Correlation	,960(**)	1,000	,933(**)	,420(**)	,104
	Sig. (1-tailed)	,000		,000	,000	,141
	N	108	108	108	108	108
CustoSimulado	Pearson Correlation	,989(**)	,933(**)	1,000	,066	-,255(**)
	Sig. (1-tailed)	,000	,000		,248	,004
	N	108	108	108	108	108
Ganho€	Pearson Correlation	,167(*)	,420(**)	,066	1,000	,933(**)
	Sig. (1-tailed)	,042	,000	,248		,000
	N	108	108	108	108	108
Ganho%	Pearson Correlation	-,157	,104	-,255(**)	,933(**)	1,000
	Sig. (1-tailed)	,052	,141	,004	,000	
	N	108	108	108	108	108
** Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).						
* Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).						

Como podemos verificar, existe uma relação linear positiva fraca (0,167) mas significativa (valor-p < 0,05).

No gráfico seguinte (Figura VI-11), Consumo vs Custos e Ganhos, podemos verificar que:

- Enquanto os custos parecem ter uma relação directa com o consumo, os consumos maiores implicam custos também maiores, aliás como era de esperar,
- O ganho mantém-se praticamente constante. Também, de certa forma era esperado, pois, a bombagem está sensivelmente a ser efectuada, em termos diários, a 38% (bombagem média: real = 2713 m³ e possível = 7200 m³), da sua capacidade.

Figura VI-11 – Gráfico do Custo/Ganho vs Consumo



Para efectuarmos o teste de significância da diferença entre a média dos valores reais e simulados, utilizamos o teste t de Student. Um dos pressupostos para a utilização deste teste é que a distribuição seja normal.

Para efectuar o teste de normalidade aplicamos o teste de Kolmogorov-Smirnov (Figura VI-12).

Figura VI-12 – Teste Normalidade do Custo

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test				
		CustoReal	CustoSimulado	Consumo
N		108	108	108
Normal Parameters(a,b)	Mean	22,9289	20,5083	2581,4868
	Std. Deviation	2,5233	2,2948	241,7814
Most Extreme Differences	Absolute	,117	,108	,122
	Positive	,117	,108	,122
	Negative	-,080	-,058	-,067
Kolmogorov-Smirnov Z		1,216	1,125	1,267
Asymp. Sig. (2-tailed)		,104	,159	,081
a Test distribution is Normal.				
b Calculated from data.				

Pelos valores (0,104 para o CustoReal e 0,159 para o CustoSimulado, superiores a 0,05) não rejeitamos a hipótese de normalidade.

Para verificar se a diferença observada, entre a média do Custo Real e do Custo Simulado, se pode atribuir a uma causa sistemática, isto é, se os custos reduzem com a implementação do Sistema Pericial, utilizamos o teste t de Student para amostras emparelhadas (Figura VI-13).

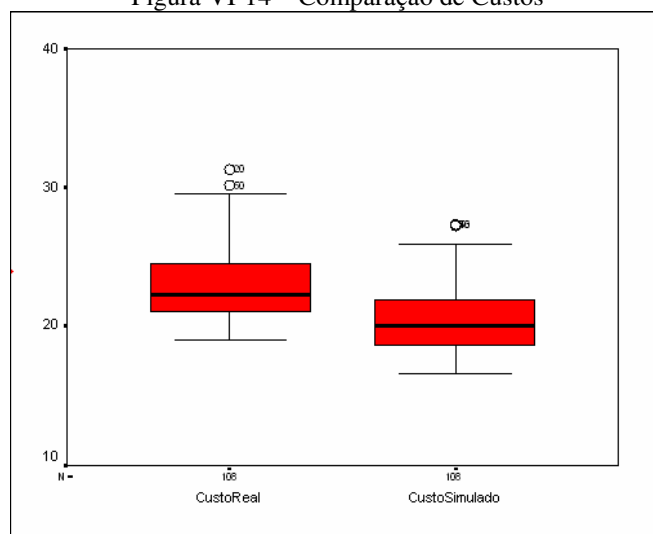
Figura VI-13 – Teste de Médias (Custo)

Custo Real vs Simulado		
Simulação baseada no Custo		
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>CustoSimulado</i>	<i>CustoReal</i>
Mean	20,50837284	22,92903827
Variance	5,26667074	6,366870747
Observations	108	108
Pearson Correlation	0,93318395	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	107	
t Stat	-27,67999975	
P(T<=t) one-tail	6,85412E-51	
t Critical one-tail	1,659218469	
P(T<=t) two-tail	1,37082E-50	
t Critical two-tail	1,982384674	
Valor p < 0,05 => Rejeita a hipótese Ho: "Igualdade médias"		
Rejeita a hipótese => CustoSimulado < CustoReal		
Redução do custo => O desempenho com o SP é superior.		

Como o valor_p < 0,05, para um nível de significância de 0,05, rejeitamos a hipótese da igualdade das médias. Podemos admitir que, com um nível de confiança de 95%, o Custo Simulado é inferior ao Custo Real.

A observação do gráfico seguinte (Figura VI-14) suporta que os custos simulados são inferiores ao real.

Figura VI-14 – Comparação de Custos



Os gráficos seguintes (Figura VI-15 e Figura VI-16) apresentam o volume, o consumo e o caudal bombeado ao longo de um dia de Verão, num dos dias de maior consumo.

Figura VI-15 – Gráfico da Bombagem Real de um dia de Verão

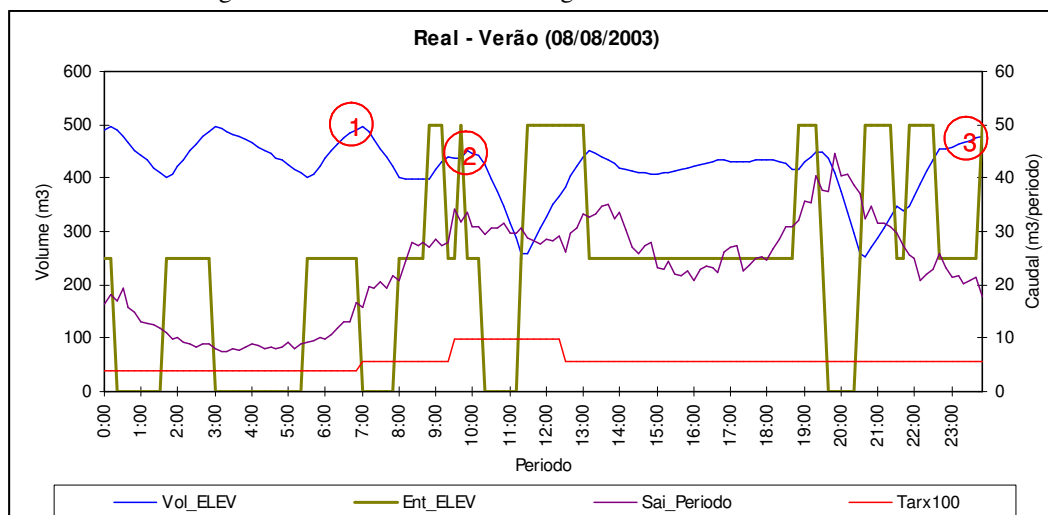
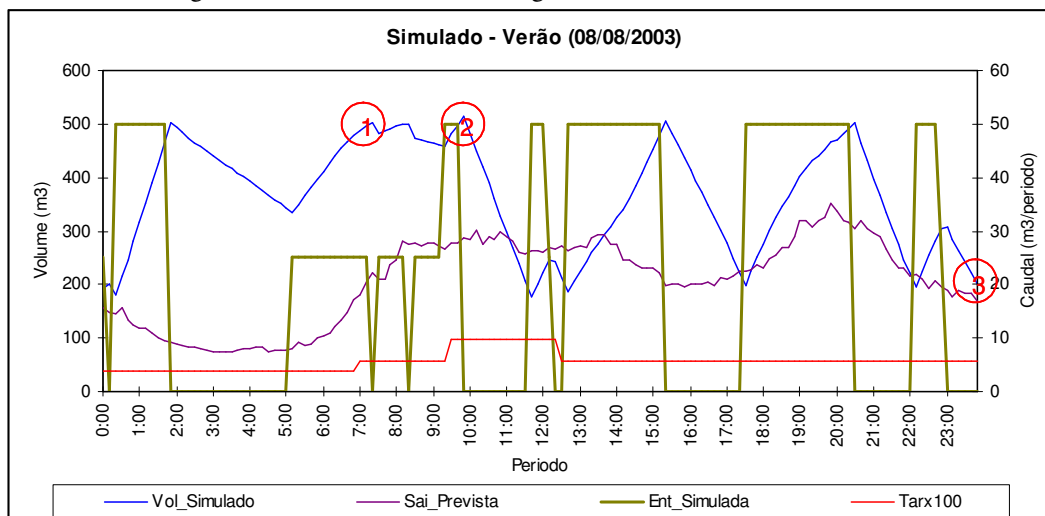


Figura VI-16 – Gráfico da Bombagem Simulada de um dia de Verão



Os gráficos seguintes (Figura VI-17 e Figura VI-18) apresentam o volume, o consumo e o caudal bombeado ao longo de um dia de Inverno.

Figura VI-17 – Gráfico da Bombagem Real de um dia de Inverno

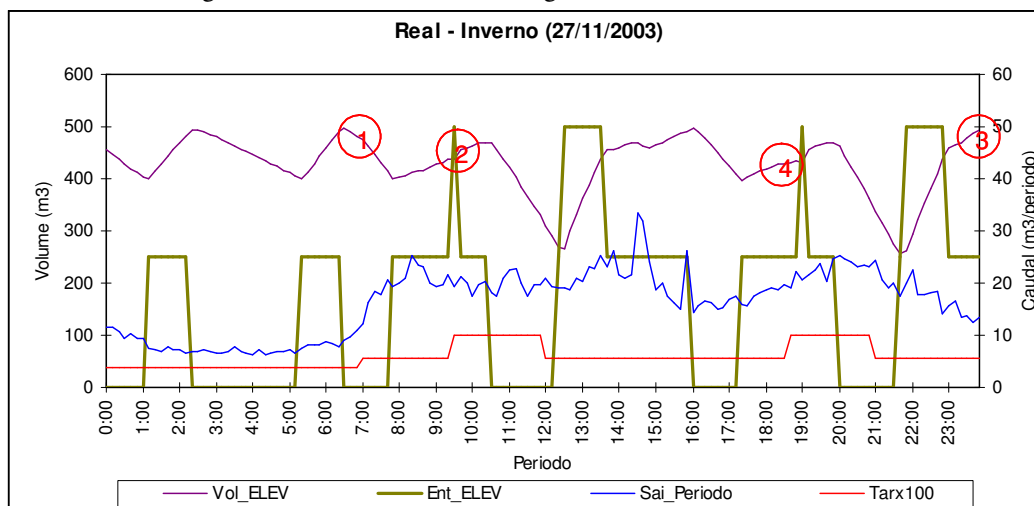
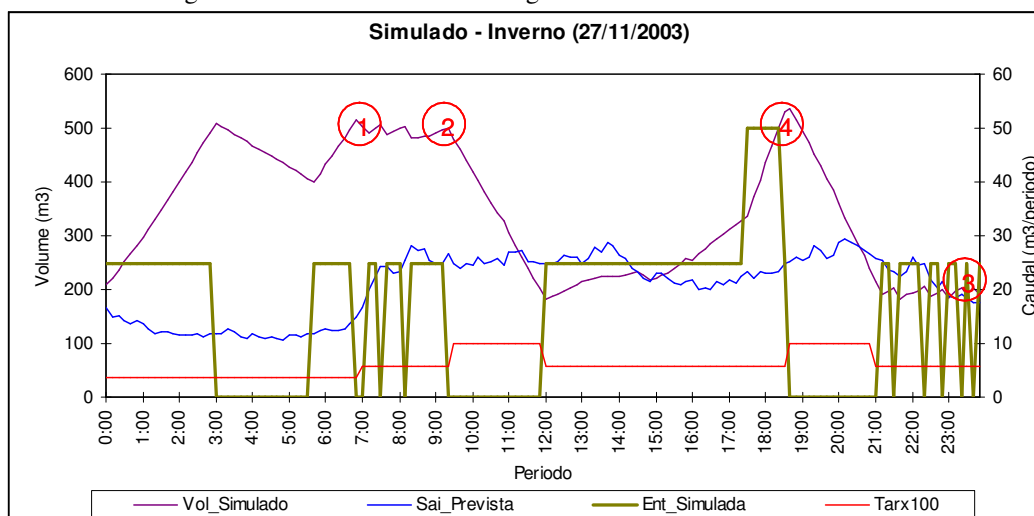


Figura VI-18 – Gráfico da Bombagem Simulado de um dia de Verão



Como podemos verificar, nos pontos assinalados, para o caso de Verão:

Ponto 1: Neste ponto, que marca o início de um dos períodos críticos, início do período de tarifa média, verificamos que os reservatórios estão no limite máximo, real e simulado.

Ponto 2: Início do período de tarifa alta, verificamos que o volume no reservatório, no real, não atingiu o limite máximo, e no simulado atingiu. Assim, no caso real obrigou as bombas a iniciar a bombagem mais cedo dentro de um período de tarifa alta.

Ponto 3: É o final de um período de tarifa média antes da tarifa baixa. Como tal, o reservatório devia estar no limite mínimo o que não acontece no caso real.

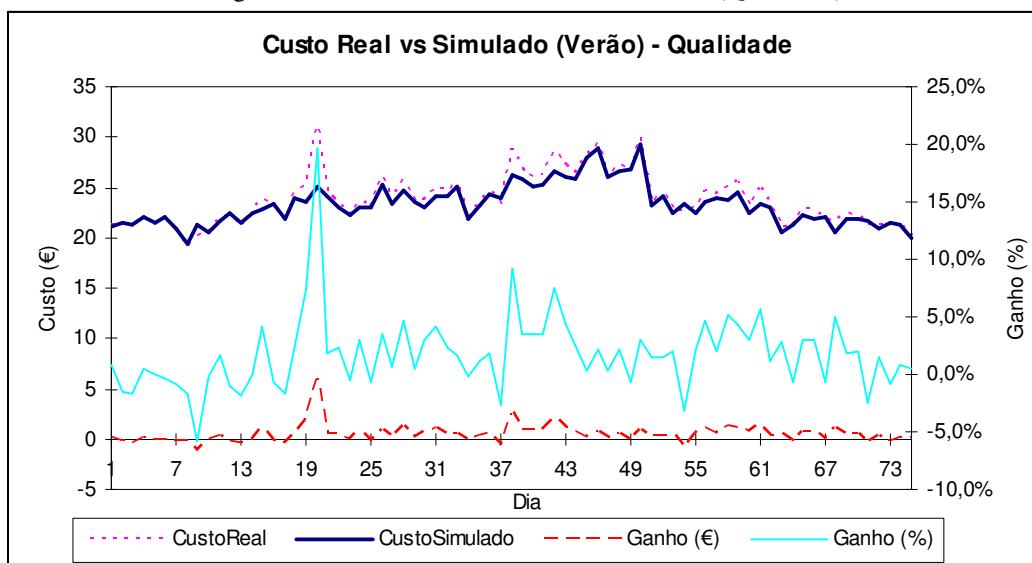
No caso de Inverno, o descrito para o Verão nos pontos 1, 2 e 3 é válido, mas apresenta mais um ponto crítico (4), que é o início de tarifa alta após tarifa média. E como se pode verificar, no caso real o reservatório não atinge o limite máximo, obrigando as bombas a funcionarem dentro do período de tarifa alta.

Pelo exposto atrás, e sendo estes gráficos uma amostra do padrão diário, foram analisados outros casos aleatoriamente e sendo o padrão idêntico, podemos verificar que o Sistema Pericial teve um bom comportamento ao nível da gestão do armazenamento nos reservatórios. Os reservatórios atingiam o limite máximo antes do início dos períodos críticos. Confirmando assim, ou mostrando, porque é que o custo simulado é menor que o real.

Simulação tendo como objectivo a qualidade:

Nesta segunda parte, apresentamos os resultados da simulação com o objectivo da qualidade (pressão constante).

Figura VI-19 – Custo Diário Real vs Simulado (Qualidade)



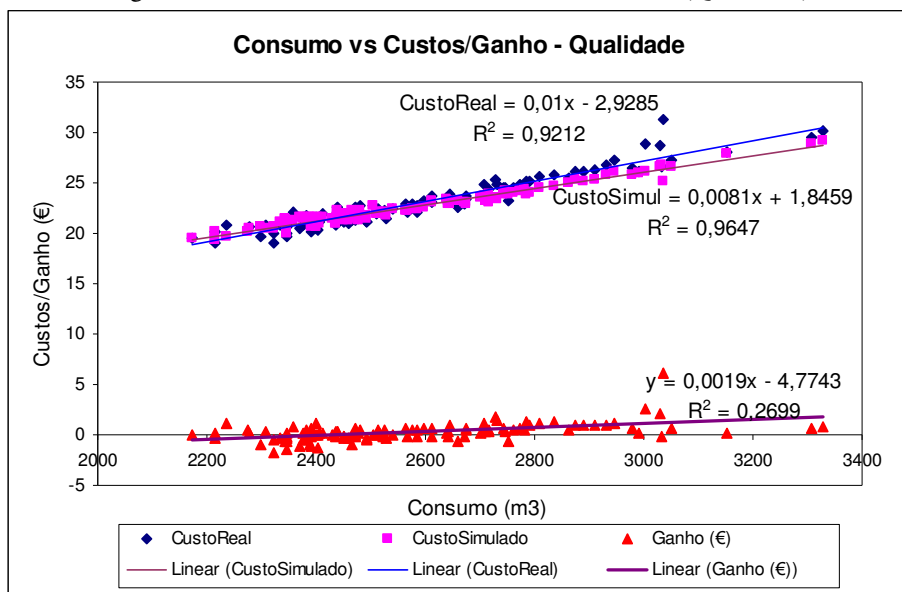
A observação do gráfico (Figura VI-19) indicia que o Custo Real, custo sem Sistema Pericial, é praticamente igual ao Custo Simulado, custo com sistema. Indício que não se confirmará, pelos testes estatísticos (Figura VI-20), em que o custo simulado é inferior.

Figura VI-20 – Teste da Médias (Qualidade)

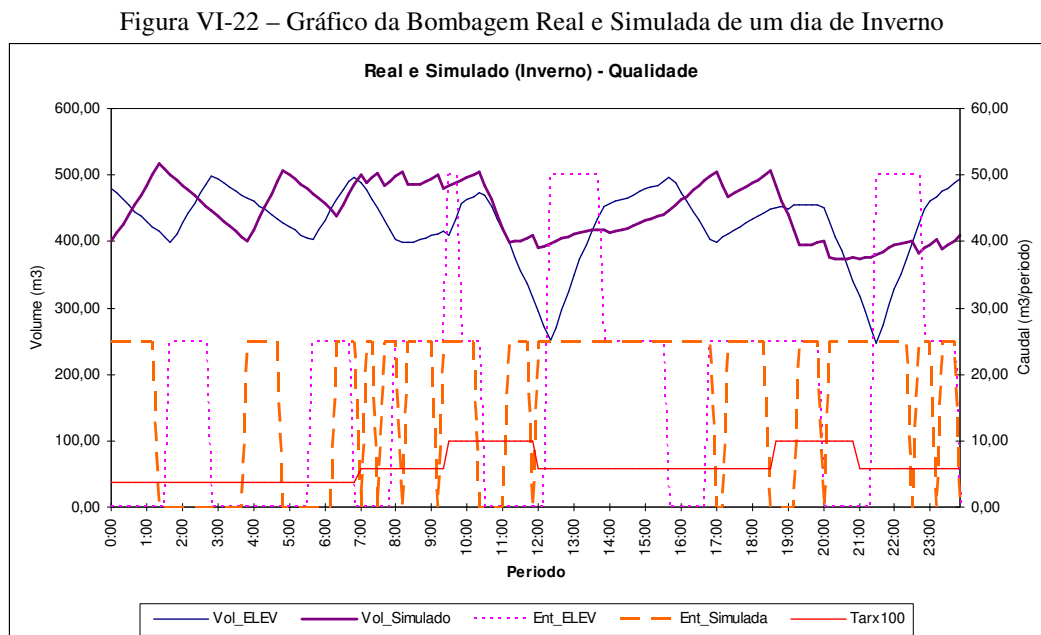
Custo Real vs Simulado		
Simulação baseada na Qualidade		
t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>CustoSimulado</i>	<i>CustoReal</i>
Mean	22,67233765	22,92903827
Variance	3,943910175	6,366870747
Observations	108	108
Pearson Correlation	0,946734	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	107	
t Stat	-2,941394663	
P(T<=t) one-tail	0,00200281	
t Critical one-tail	1,659218469	
P(T<=t) two-tail	0,00400562	
t Critical two-tail	1,982384674	
Valor $p < 0,05 \Rightarrow$ Rejeita a hipótese H_0 : "Igualdade médias"		
Rejeita a hipótese \Rightarrow $CustoSimulado < CustoReal$		
Redução do custo \Rightarrow O desempenho com o SP é superior.		

O gráfico seguinte (Figura VI-21), Consumo vs Custos, indicia que os custos são praticamente iguais, com um ligeiro aumento no ganho com o aumento do consumo. Como se pode verificar pelos valores do teste na Figura VI-20, valor $p < 0,05$, o Custo Real é superior ao Simulado.

Figura VI-21 – Gráfico do Custo/Ganho vs Consumo (Qualidade)



O gráfico seguinte (Figura VI-22), do volume e caudais de bombagem ao longo de um dia de Inverno, mostra-nos que o volume no reservatório se manteve acima de um valor aceitável para que a pressão se mantivesse praticamente constante ao longo do dia.



Estes resultados mostram que é possível melhorar a qualidade do produto, mantendo a pressão praticamente constante ao longo do dia, e mesmo assim, obter redução dos custos energéticos.

Capítulo VII - Conclusões e Desenvolvimento Futuro

As divergências existentes entre os autores que defendem que os Sistemas de Informação proporcionam vantagem competitiva às organizações e os que apontam poucas evidências nesse sentido e mesmo resultados contraditórios, levou-nos a analisar esta problemática na adopção de um tipo específico de sistemas, os Sistemas Periciais.

Através da análise da literatura existente nesta área, verificamos que entre as razões apontadas para esta falta de consenso nos benefícios se encontram questões estruturais como medidas inadequadas e metodologias de análise. As organizações continuam a não ter uma referência para medir o desempenho dos sistemas face aos objectivos da empresa.

Convictos que os Sistemas Periciais são um valioso contributo para as organizações, face às suas características, das quais salientamos, a facilidade de construção, baixo investimento, facilidade de crescimento e benefícios conseguidos, e com o objectivo de contribuir para que os gestores de Sistemas de Informação tenham disponível uma metodologia e métricas para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais e avaliar a possibilidade de conceder sistemas de baixo custo mas que proporcionam retornos significativos, propusemo-nos neste trabalho a responder às seguintes questões:

1. Que métricas e procedimentos podem ser utilizados para avaliar o desempenho dos Sistemas Periciais?
2. Será possível, com baixo custo e risco, criar aplicações simples, que proporcionem vantagem competitiva?

Com base na primeira parte do trabalho, a análise bibliográfica, verificamos, pelos casos reportados, não existir consenso sobre o método, as medidas, o que avaliar e como avaliar. Esta discordância justifica-se, em parte, devido ao tipo de sistema em análise. Os Sistemas Periciais, sistemas que devido às suas características, podem desempenhar várias tarefas e, como tal, as métricas terão de ser ajustadas aos objectivos da organização e às tarefas a desempenhar. Desta análise retiramos as metodologias e métricas mais utilizadas, que nos levaram a elaborar um modelo de avaliação do desempenho para os Sistemas Periciais. Esta proposta de metodologia e métricas poderá não ser a única resposta à questão inicial, no entanto parece-nos a mais adequada e a que garante coerência na avaliação do desempenho dos Sistemas Periciais.

O procedimento de avaliação de Sistemas Periciais terá de passar pela definição de métricas associadas aos objectivos do negócio. Uma considerável flexibilidade é necessária quando seleccionamos um critério para assegurar que as questões pertinentes são colocadas. Na avaliação do sistema, não podemos somente analisar o impacto deste no indivíduo ou na organização. A avaliação terá de ter em conta os factores de influências recíprocas entre: sistema, utilizador e organização.

Na área industrial, os Sistemas Periciais, podem ser avaliados por experimentação ou recurso a simulação com base em dados históricos, a avaliação dos resultados gerados pelo Sistema Pericial são comparados com os do sistema actual. Com base nesta possibilidade e para responder à segunda questão aplicamos a metodologia de avaliação e métricas a um caso prático nesta área.

No estudo de caso, seguindo a metodologia proposta, e recorrendo ao Responsável da Organização, identificamos os objectivos principais:

1. Redução dos custos operacionais (a curto prazo),
2. Melhoria da qualidade do serviço (a curto/médio prazo).

Para avaliar se o Sistema Pericial era um contributo válido para estes objectivos, efectuamos uma simulação baseada em dados históricos, onde testamos as seguintes hipóteses:

- H1. O Sistema Pericial proporciona uma redução do custo energético.
- H2. O Sistema Pericial melhora a qualidade do serviço sem comprometer os custos energéticos.

Podendo concluir que:

- A implementação do sistema teve um impacto positivo na redução dos custos energéticos, como podemos verificar através do teste efectuado. O Custo Simulado, com Sistema Pericial, é inferior ao Real, sem sistema (Figura VI-13) e (Figura VI-14).
- A implementação do Sistema Pericial melhorou a qualidade, mantendo a pressão constante ao longo do dia, com o volume no reservatório acima de um valor aceitável, e, mesmo assim, o custo energético foi ligeiramente inferior (Figura VI-20 e Figura VI-21).

Apesar de carecer de mais algum trabalho de investigação, o sistema testado mostra que um Sistema Pericial relativamente simples e de custo moderado, pode proporcionar vantagens à organização, reduzindo os custos e melhorando a qualidade do produto.

Assim, a resposta à segunda questão “*Será possível, com baixo custo e risco, criar aplicações simples, que proporcionem vantagem competitiva?*”, pelas evidências deste estudo, parece-nos ser positiva. A literatura aponta esta hipótese como possível e neste trabalho mostramos que, para o caso de estudo em questão, a implementação do Sistema Pericial poderá proporcionar benefícios significativos. O sistema analisado, parametrizado com o objectivo da redução de custos, proporcionou uma redução próxima dos 10%, sem comprometer a segurança e qualidade do produto. A melhoria da qualidade foi conseguida, no parâmetro de pressão constante de abastecimento, e obteve-se uma redução dos custos energéticos na ordem de 1%.

Este trabalho poderá ser um valioso contributo para os Responsáveis das Organizações que têm de decidir sobre Sistemas e Tecnologias de Informação, fornecendo-lhes uma metodologia, métricas de desempenho e apontando as ideias chave a ter em conta na avaliação de desempenho dos Sistemas Periciais:

- A escolha dos parâmetros de avaliação devem recair nos que são realmente importantes, as métricas terão de ser definidas de acordo com o contexto, devem ser fundamentais para o negócio e, como tal, devem partir dos utilizadores ligados ao negócio e não do sistema.
- A avaliação de desempenho deverá analisar as medidas que influenciam as partes envolvidas (Utilizador, Sistema e Organização).

- A comparação deve ser efectuada com um critério aceite, seja com um perito humano ou o sistema actual.

No que respeita, ao estudo de caso, os indícios, mesmo carecendo de mais alguma investigação, particularmente na implementação de um Sistema Pericial que controle, de forma integrada, a totalidade do sistema de abastecimento leva-nos a pensar que este trabalho será um bom contributo para as organizações, especialmente as que operam na área de abastecimento público, mostrando-lhes que com um pouco de trabalho e imaginação poderão dispor de um sistema que lhes proporcionará vantagens competitivas. Os Sistemas Periciais poderão fornecer a inteligência necessária aos sistemas que as empresas já possuem, tornando-as assim mais eficientes.

Como desenvolvimentos futuros, poderemos apontar numa primeira fase a análise de um Sistema Pericial, através de simulação, que tenha como objectivos:

1. O tratamento de toda a rede, controlando as restantes estações de bombagem de uma forma integrada.
2. Diminuição do tempo de paragem não programada. Detectando fugas, através dos desequilíbrios de fluxo nas condutas, e a degradação dos equipamentos.
3. Redução das perdas. Alertando para possíveis roturas nas condutas.

Para muitas classes de máquinas, os problemas são reconhecidos quando os parâmetros ou indicadores de desempenho se desviam do comportamento normal, para uma dada carga. A degradação interna das bombas centrífugas é indicada quando o desempenho cai abaixo da curva de desempenho. Isto requer que todos os componentes usados para

calcular a eficiência da bomba sejam medidos simultaneamente e comparados com a curva base da bomba.

Assim, numa segunda fase, deverá ser levado a cabo um estudo empírico, com a implementação de um sistema piloto, para controlar, em tempo real, o desempenho global do processo, detectando falhas nas bombas, problemas de alimentação, mau funcionamento dos sensores, elaborar plano de manutenção dos equipamentos, entre outros, incluindo os já referidos e analisados neste estudo. Em suma, implementar um Sistema Pericial, que controle toda a rede de abastecimento de uma forma integrada.

Referências Bibliográficas

Anumba, C. J. e Scott, D. (2001), Performance evaluation of a knowledge-based system for subsidence management, *Structural Survey*, Vol. 19, Nº 5, pp. 222-232.

Baeza, J.; Gabriel, D. e Lafuente, J. (1999), An Expert Supervisory System for a Pilot WWTP, *Environmental Modelling & Software*, Nº 14, pp. 383-390.

Barr, V. (1999), Applications of rule-base coverage measures to expert system evaluation, *Knowledge-Based Systems*, Nº 12, pp. 27-35.

Barr, V. B. e Klavans, J. L. (2001), Verification and Validation of Language Processing Systems: Is it Evaluation?.

Bevan, N. (1999), Quality in use: Meeting user needs for quality, *Journal of System and Software*.

Benbasat, I. e Zmud, R. W. (1999), Empirical Research in Information Systems: The Practice of Relevance, *MIS Quarterly*, Vol. 23, Nº 1, pp. 3-16.

Byrd, T. A. e Hauser, R. D. Jr. (1991), Expert Systems in Production and Operations Management: Possible Human Side Effects in Implementation, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 32, Nº 4, pp. 53-57.

Boritz, J.E. e Wensley, A. K. P. (1992), Evaluating Expert Systems with complex outputs: The case of audit planning, *Auditing*, Vol. 11, Nº 2.

Brown, C. V. (2003), Performance metrics for IT human resource alignment, *Information Systems Management*, Fall 2003, pp. 36-42.

Cascante, L. P.; Plaisent, M.; Bernard, P. e Maguiraga, L. (2002), The Impact of Expert Decisions Support Systems of the Performance of New Employes, *Information Resources Management Journal*, Vol. 14, Nº 4, pp. 64-78.

Changchit, C.; Holsapple, C. W. e Madden, D. L. (1999), Positive Impacts of an Intelligent System on Internal Control Problem Recognition, *Proceeding of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE 1999.

Chen, M. e Linkens, D. A. (1997), Neuro-Expert Approach to Characteristics Recognition for Process Monitoring and Performance Evaluation, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 12, pp. 359-377.

Cohen, P. (1995), Empirical Methods for Artificial Intelligence, MIT Press.

Fiolhais, C. (2003), *A coisa mais preciosa que temos*, 2^a ed., Gradiva, Lisboa.

González, C. A.; Acosta, G.; Mira, J. e Prada, C. (1998), Knowledge based process control supervision and diagnosis: the AEROLID approach, *Expert Systems whit Applications*, N° 14, pp. 371-383.

Grabowski, M. e Sanborn, S. D. (2001), Evaluation of Embedded Intelligent Real-Time Systems, *Decision Sciences*, Vol. 32, N° 1, pp. 95-123.

Grabowski, M. e Sanborn, S. D. (2003), Human performance and embedded intelligent technology in safety-critical systems, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 58, pp. 637-670.

Graeve, J. S.; Cambus, J. P.; Gruson, A. e Valdiguié, P.M. (1996), Automated technical validation – a real time expert system for decision support, *Clinica Chimica Acta*, N° 248, pp. 39-49.

Greene, A. H. (1994), Environmental protection using real-time expert systems, *Quality*, Vol. 33, N° 8., pp. 44-47.

Gregor, S. e Benbasat, I. (1999), Explanations from Intelligent Systems: Theoretical Foundations and Implications for Prattice, *MIS Quartely*, Vol. 23, N° 4, pp. 497-530.

Hauser, R. D. e Hebert, F. J. (1992), Managerial Issues in Expert System Implementation, *S. A. M. Advanced Management Journal*, Winter 1992, Vol. 57, N° 1, pp. 10-15.

Hitt, L. M. e Brynjolfsson, E. (1996), Productivity, Business Profitability, and Consumer Surplus: Three Different Measures of Information Technology Value, *MIS Quarterly*, June 1996, pp. 121-142.

Jackson, P. (1999), *Introduction to Expert Systems*, Third Edition, Addison-Wesley.

Johnson, C. D. (1990), *Controlo de Processos: Tecnologia da Instrumentação*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Klecun-Dabrowsla, E. e Cornford, T. (2001), Evaluation and Telehealth – an Interpretative Study, *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE.

Klein, H. K. e Myers, M. D. (1999), A Set of Principles for Conducting and Evaluating Interpretive Field Studies in Information Systems, *MIS Quarterly*, Vol. 23, Nº 1, pp. 67-94.

Kodali, R. (1992), A knowledge-based system for selection of a transport path in real-time control of FMS, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 12, Nº 9.

Kohli, R. e Devaraj, S. (2003), Measuring Information Technology Payoff: A Meta-Analysis of Structural Variables in Firm-Level Empirical Research, *Information Systems Research*, Vol. 14, Nº 2, pp. 127-145.

Leung, D. e Romagnoli, J. (2000), Real-Time MPC Supervisory System, *Computers and Chemical Engineering*, Nº 24, pp. 285-290.

Leung, L. C.; Miller, W. A.; e Okogbaa, G. (1992), Evaluation of Manufacturing Expert Systems: Framework and Model, *The Engineering Economist*, Vol. 37, Nº 4, pp. 293-314.

Linkens, D. A. e Chen, M. (1995), Expert Control Systems – 2. Design Principles and Methods, *Engng Applic. Artif. Intell.*, Vol. 8, Nº 5, pp. 527-537.

LLata, J. R.; Sarabia, E. G.; e Oria, J. P. (2002), Evaluation of expert systems for automatic shape recognition by ultrasound, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 13, pp. 177-188.

López, M. A. A.; Flores, C. H. e Garcia, E. G. (2003), An intelligent tutoring system for turbine startup training of electrical power plant operators, *Expert Systems whit Applications*, Nº 24 , pp. 95-101.

Mattei, M.D. (2001), Using “Expert Systems” for Competitive Advantage, *Business and Economic Review*, Vol.47, Nº 3, pp. 17-20.

Mauldin, E.G. (2003), An Experimental Examination of Information Technology and Compensation Structure Complementarities in an Expert System Context, *Journal of Information Systems*, Vol. 17, Nº 1, pp. 19-41.

Menzies, T. (2000), Critical Success Metrics: Evaluation at the Business-Level, *International Journal of Human Computer Studies*.

Metaxiotis, K.S.; Askounis, D.; e Psarras, J. (2002a), Expert Systems in Production Planning and Scheduling: A State-of-the-art Survey, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 13, Nº 4, pp. 253-260.

Metaxiotis, K.S.; Askounis, D.; e Psarras, J. (2002b), Genesys: an Expert System for Production Scheduling, *Industrial Management Data Systems*, Vol. 102, Nº 5/6, pp. 309-317.

Motiwalla, L. e Fairfield-Sonn, J. (1998), Measuring the Impact of Expert Systems, *Journal of Business and Economic Studies*, Vol. 4, Nº 2, pp. 1-17.

Murray, M.A.; Sharp, L. F.; Simpson, L. e Priesmeer, H. R. (1998), Evaluating Expert Systems: How to ensure an independent assessment, *Quality Management in Health Care*, Vol. 7, Nº 1, pp.18-28.

Myers, B. L.; Kapellman, L. A. e Prybutok, V. R. (1997), A Comprehensive Model for Assessing the Quality and Productivity of the Information Systems Function: Toward a Contingency Theory for Information Systems Assessment, *Information Resources Management Journal*, Winter 1997.

Nabeshima, K.; Suzudo, T.; Ohno, T. e Kudo, K. (2002), Nuclear Reactor Monitoring with the Combination of Neural Network and Expert System, *Mathematics and Computers in Simulation*, N° 60, pp. 233-244.

Neves, J. C. (2003), *Análise Financeira – Avaliação de Desempenho Baseada no Valor*, Vol. II, Texto Editora, Lisboa.

Palma-dos-Reis, A. (1999), *Sistemas de Decisão*, Universidade Aberta, Lisboa.

Park, K. S. e Lim, C. H. (1999), A structured methodology for comparative evaluation of user interface designs using usability criteria and measures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, N° 23, pp. 379-389.

Parker, K. (1993), Lending Expertise to Supervisory Control, *Manufacturing Systems*, Vol. 11, N° 8, pp. 24-28.

Pemberton, M. (2003), Intelligent variable speed pumping, *Plant Engineering*, Vol. 57, N° 12, pp. 28-30.

Perdu, D. M. e Levis, A. H. (1988), Evaluation of Expert Systems in Decision Making Organizations, *MIT Laboratory for Information and Decision Systems, LIDS-P-1788*.

Pigford, D. V. e Baur, G. (1995), *Expert Systems for Business*, Boyd & Fraser Publishing Company, Danvers, Massachusetts.

Prang, J.; Huemmer, H. e Geisselhardt, W. (1996), A System for Simulation, Monitoring and Diagnosis of Controlled Continuous Processes with Slow Dynamics, *Knowledge-Based Systems*, N° 9, pp. 525-530.

Quek, C. e Wahab, A. (2000), Real-Time Integrated Process Supervision, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, N° 13, pp. 645-658.

Rafea, A. e Mahmoud, M. (2001), The Evaluation and Impact of NEPER Wheat Expert System, *IFAC*.

Ramos, C. (2001), Apontamentos usados na disciplina de Sistemas Periciais da Lic. de Eng. Informática do ISEP.

Rantanen, E.M. e Nunes, A. (2003), Taxonomies of measures in air traffic control research, *Paper presented at the 12^a International Symposium on Aviation Psychology*, Dayton, OH, 2003.

Rees, P. (1991), A Case Study Of User Evaluation Of An Expert System, *Journal of Systems Management*, Vol. 42, Nº 12, pp. 10-11 e 36-37.

Reich, B. H. e Benbasat, I. (1996), Measuring the Linkage Between Business and Information Technology Objectives, *MIS Quarterly*, Vol. 20, Nº 1, pp. 55-81.

Rodionov, S. N. e Martin, J. H. (1999), An expert system-based approach to prediction of year-to-year climatic variations in the north atlantic region, *International journal of Climatology*, Nº 19, pp. 951-974.

Seddon, P. B.; Staples, S.; Patnayakuni, R. e Bowtell, M. (1999), Dimensions of Information Systems Success, *Communications of the Association for Information Systems*, Vol. 2, Article 20.

Sharma, R. S. e Conrath, D. W. (1996), Some Soft Measures for Performance Analysis: the “Core” Dimensions of Expert System Quality, *Microelectron. Reliab.*, Vol. 36 , Nº 6, pp. 775-796.

Smith, J. S. (2003), Survey on the Use of Simulation for Manufacturing System Design and Operation, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 22, Nº 2, pp. 157-171.

Tavares, L. V.; Oliveira, R. C.; Themido, I. H. e Correia, F. N. (1996), *Investigação Operacional*, McGraw-Hill Portugal, Alfragide.

Todd, P. e Benbasat, I. (1999), Evaluating the Impact of DSS, Cognitive Effort, and Incentives on Strategy Selection, *Information Systems Research*, Vol. 10, Nº 4, pp. 356-374.

Tsai, N.; Necco e C. R.; Wei, G. (1994), Implementing an Expert System: A Report on Benefits Realized, *Journal of Systems Management*, October 1994, pp. 26-30.

Turban, E. e Liebowitz, J. (1992), *Managing Expert Systems*, Idea Group Publishing Harrisburg: Pennsylvania.

Turban, E. e Aronson, J. E. (1998), *Decision Support and Intelligent Systems*, Prentice Hall, New Jersey.

Turban, E. e Aronson, J. E. (2000), *Decision Support and Intelligent Systems*, Prentice Hall, New Jersey.

Uraikul, V.; Chan, C. W. e Tontiwachwuthikul, P. (2000), Development of an expert system for optimizing natural gas pipeline operations, *Expert System with Applications*, Nº 18, pp. 271-282.

Vingerhoeds, R. A.; Janssens, P.; Netten, B. D. e Fernandez-Montesinos, M. A. (1995), Enhancing Off-Line and On-Line Condition Monitoring and Fault Diagnosis, *Control Eng. Practice*, Vol. 3, Nº 11, pp. 1515-1528.

Waterman, D. A. (1986), *A Guide to Expert System*, Addison-Wesley Publishing Company.

Weitz, R. R. (1990), Technology, Work, and the Organization: The Impact of Expert Systems, *AI Magazine*, Summer 1990, pp. 50-60.

Wentworth, J.A.; Knaus, R.; e Aougab, H. (1995), Verification, Validation and Evaluation of Expert Systems, An Federal Highway Administration Handbook, Vol. 1.

Wilikens, M. e Burton, C. J. (1996), FORMENTOR: Real-Time operator advisory sustem for loss control. Application to a petro-chemical plant., *International Journal of Industrial Ergonomics*, N° 17, pp. 351-366.

Xue, W. e Shuzi, Y. (1996), A Parallel Distributed Knowledge-Based System for Turbine Generator Fault Diagnosis, *Artificial Intelligence in Engineering*, N° 10, pp. 335-341.

Ye, L. R, e Johnson, P. E. (1995), The Impact of Explanation Facilities on User Acceptance of Expert Systems Advice, *MIS Quarterly*, Vol. 19, N° 2, pp. 157-172.

Yoon, Y.; Guimarães, T. e O'Neal, Q. (1995), Exploring the Factors Associated With Expert Systems Success, *MIS Quarterly*, Vol. 19, N° 1, pp. 83-106.

Anexos

Anexo I – Valores do Custo Real e Simulado do período de Inverno

Custo Real vs Simulado (Inverno 2003/04 - 33 dias)					
Simulação baseada no custo					
Dias	33				
Total	78156,31	694,09	604,27	89,82	12,9%
Dia	Consumo	CustoReal	CustoSimulado	Ganho (€)	Ganho (%)
1	2480,28	22,69	19,42	3,27	14,4%
2	2437,89	22,56	19,06	3,50	15,5%
3	2389,85	21,41	18,27	3,14	14,7%
4	2374,89	21,68	18,58	3,10	14,3%
5	2333,21	20,88	18,44	2,44	11,7%
6	2357,98	22,06	17,99	4,07	18,5%
7	2383,23	21,78	18,20	3,59	16,5%
8	2173,87	19,44	16,66	2,78	14,3%
9	2342,02	20,77	18,37	2,41	11,6%
10	2216,30	20,22	17,23	2,99	14,8%
11	2278,90	20,64	17,35	3,29	15,9%
12	2322,00	18,98	17,85	1,12	5,9%
13	2297,54	19,73	17,71	2,01	10,2%
14	2413,11	21,87	18,64	3,23	14,8%
15	2386,51	21,00	18,33	2,66	12,7%
16	2450,39	21,83	18,91	2,92	13,4%
17	2273,24	20,56	17,44	3,11	15,1%
18	2347,62	20,61	18,07	2,54	12,3%
19	2344,85	19,62	17,99	1,63	8,3%
20	2403,54	20,36	18,71	1,65	8,1%
21	2369,68	20,43	18,43	2,01	9,8%
22	2404,21	21,47	18,56	2,90	13,5%
23	2469,43	21,91	19,27	2,63	12,0%
24	2306,33	20,78	17,95	2,83	13,6%
25	2505,86	22,76	19,71	3,05	13,4%
26	2389,38	20,58	18,56	2,01	9,8%
27	2465,79	21,24	19,27	1,97	9,3%
28	2321,12	20,04	17,48	2,55	12,8%
29	2611,40	23,05	20,32	2,72	11,8%
30	2374,97	20,87	18,12	2,75	13,2%
31	2347,68	20,77	18,37	2,40	11,6%
32	2347,42	20,64	17,99	2,66	12,9%
33	2235,84	20,86	17,01	3,85	18,5%

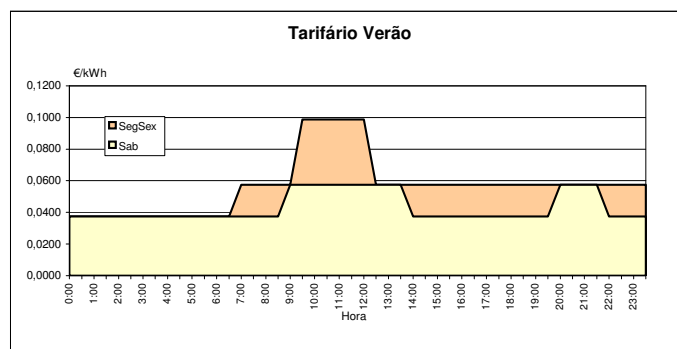
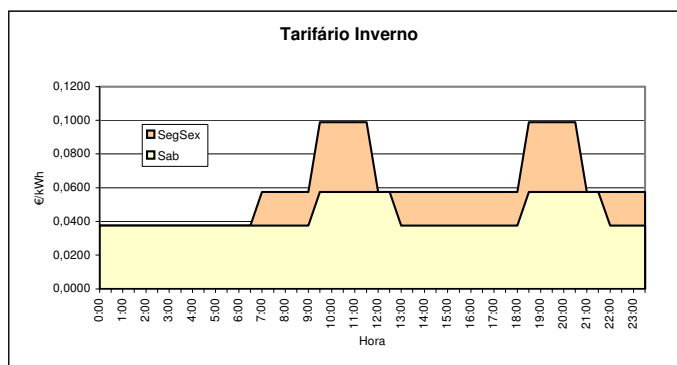
Anexo II – Valores do Custo Real e Simulado do período de Verão.

Custo Real vs Simulado (Verão 2003 - 75 dias)				
Simulação baseada no custo				
Dias	75			
Total	1782,24	1610,63	171,61	9,6%
Dia	CustoReal	CustoSimulado	Ganho (€)	Ganho (%)
1	21,21	19,00	2,21	10,4%
2	21,20	19,93	1,27	6,0%
3	21,01	19,43	1,58	7,5%
4	22,13	20,22	1,91	8,6%
5	21,41	19,62	1,79	8,4%
6	21,89	20,10	1,79	8,2%
7	20,79	19,37	1,41	6,8%
8	19,01	17,83	1,19	6,2%
9	20,10	19,16	0,93	4,6%
10	20,56	19,09	1,48	7,2%
11	22,04	19,47	2,58	11,7%
12	22,16	21,36	0,79	3,6%
13	21,06	19,51	1,55	7,4%
14	22,36	20,01	2,36	10,5%
15	23,86	21,34	2,53	10,6%
16	23,14	21,58	1,56	6,8%
17	21,42	20,07	1,35	6,3%
18	24,51	22,13	2,38	9,7%
19	25,33	21,97	3,36	13,3%
20	31,24	22,75	8,49	27,2%
21	24,50	22,39	2,11	8,6%
22	23,46	21,20	2,26	9,7%
23	22,18	20,43	1,74	7,9%
24	23,71	20,97	2,74	11,5%
25	22,93	21,64	1,29	5,6%
26	26,25	23,40	2,85	10,8%
27	23,52	21,50	2,01	8,6%
28	25,86	23,34	2,52	9,7%
29	23,75	21,34	2,41	10,2%
30	23,79	21,49	2,30	9,7%
31	25,09	22,54	2,55	10,1%
32	24,78	22,54	2,24	9,0%
33	25,48	23,12	2,37	9,3%
34	21,89	19,77	2,12	9,7%
35	23,41	21,76	1,66	7,1%
36	24,79	22,40	2,39	9,6%
37	23,30	21,91	1,39	5,9%
38	28,84	24,61	4,23	14,7%
39	26,79	23,67	3,12	11,6%
40	26,05	23,67	2,38	9,1%
41	26,18	22,96	3,22	12,3%
42	28,78	25,03	3,75	13,0%
43	27,23	23,90	3,33	12,2%
44	26,48	24,16	2,32	8,7%
45	28,09	25,97	2,12	7,6%
46	29,52	27,30	2,23	7,5%
47	26,13	24,44	1,68	6,4%
48	27,29	24,89	2,39	8,8%
49	26,64	25,03	1,61	6,0%
50	30,12	27,28	2,83	9,4%
51	23,62	21,93	1,70	7,2%
52	24,56	22,41	2,15	8,7%
53	22,82	20,57	2,26	9,9%
54	22,57	21,28	1,29	5,7%
55	22,94	20,78	2,16	9,4%
56	24,80	21,71	3,09	12,5%
57	24,42	21,97	2,45	10,0%
58	25,13	22,56	2,58	10,3%
59	25,63	22,48	3,15	12,3%
60	23,20	20,63	2,57	11,1%
61	24,84	21,90	2,94	11,8%
62	23,22	20,84	2,38	10,2%
63	21,15	18,56	2,59	12,2%
64	21,15	19,14	2,02	9,5%
65	22,91	20,70	2,21	9,6%
66	22,57	19,22	3,35	14,8%
67	21,87	20,43	1,44	6,6%
68	21,69	18,94	2,75	12,7%
69	22,35	20,14	2,21	9,9%
70	22,33	19,71	2,62	11,7%
71	21,21	19,65	1,56	7,4%
72	21,21	19,50	1,71	8,1%
73	21,33	19,42	1,91	9,0%
74	21,38	19,42	1,96	9,2%
75	20,07	18,16	1,91	9,5%

Anexo III – Tarifa eléctrica

Ciclo Semanal (€/kWh)

Ponta	Cheias	Vazio	Domingo	
Hora	Inverno		Verão	
	SegSex	Sab	SegSex	Sab
0:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
0:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
1:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
1:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
2:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
2:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
3:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
3:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
4:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
4:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
5:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
5:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
6:00	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
6:30	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
7:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
7:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
8:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
8:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
9:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0575
9:30	0,0988	0,0575	0,0988	0,0575
10:00	0,0988	0,0575	0,0988	0,0575
10:30	0,0988	0,0575	0,0988	0,0575
11:00	0,0988	0,0575	0,0988	0,0575
11:30	0,0988	0,0575	0,0988	0,0575
12:00	0,0575	0,0575	0,0988	0,0575
12:30	0,0575	0,0575	0,0575	0,0575
13:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0575
13:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0575
14:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
14:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
15:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
15:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
16:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
16:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
17:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
17:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
18:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
18:30	0,0988	0,0575	0,0575	0,0375
19:00	0,0988	0,0575	0,0575	0,0375
19:30	0,0988	0,0575	0,0575	0,0375
20:00	0,0988	0,0575	0,0575	0,0575
20:30	0,0988	0,0575	0,0575	0,0575
21:00	0,0575	0,0575	0,0575	0,0575
21:30	0,0575	0,0575	0,0575	0,0575
22:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
22:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
23:00	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375
23:30	0,0575	0,0375	0,0575	0,0375



Extraída do “Tarifário de venda de energia eléctrica a clientes finas – 2004” da EDP (Energias de Portugal).